

OTTO SAMUEL MÄDER NETTO

**CONTROLE DA INCRUSTAÇÃO DE ORGANISMOS INVASORES EM
MATERIAIS DE SISTEMAS DE RESFRIAMENTO DE USINAS
HIDRELÉTRICAS**

Curitiba

2011

OTTO SAMUEL MÄDER NETTO

**CONTROLE DA INCRUSTAÇÃO DE ORGANISMOS INVASORES EM
MATERIAIS DE SISTEMAS DE RESFRIAMENTO DE USINAS
HIDRELÉTRICAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre. Área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Franke Portella
Co-orientador: Prof. Dr. Paulo J. Ribeiro Jr.

Curitiba

2011

Mäder Netto, Otto Samuel
Controle da incrustação de organismos invasores em materiais de sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas / Otto Samuel Mäder Netto. - Curitiba, 2011.
112 f. : il., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia - PIPE.
Orientador: Kleber Franke Portella
Co-orientador: Paulo J. Ribeiro Junior.

1. Usinas hidrelétricas. 2. Reservatórios. 3. Resfriamento. 4. Aço - Corrosão. I. Portella, Kleber Franke. II. Ribeiro Junior, Paulo J. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDD 620.112

“Cada dia a natureza produz o suficiente para nossa carência.
Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário,
não havia pobreza no mundo e ninguém morreria de fome.”
(*Gandhi*)

“A natureza pode suprir todas as necessidades do homem,
menos a sua ganância”
(*Gandhi*)

*A minha esposa Juliana e meus filhos Yago e Camila,
por todo amor e paciência!*

Aos meus pais por nunca medirem esforços para me ensinarem o caminho certo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC pelo apoio para a realização do mestrado. Em especial as gerentes de departamento Ingrid Illich Muller, de unidade Tania Lucia Graf de Miranda e ao diretor Mauricio Muller. Aos meus companheiros de trabalho Jair Duarte, Patricia Dammski Borges, Ricardo Fontoura Borba, Leonardo Pussieldi Bastos, Douglas Tsuyoshi Nakayama, Flora Hauer De Mello Leitão, Camila Ghilardi Cardoso e Jose Eloi Pereira de Jesus Junior pelo apoio e ajuda com os demais projetos e trabalhos.

Um agradecimento especial para o Jair Duarte, Ricardo Fontoura Borba, Jose Eloi Pereira de Jesus Junior e Carlos Eduardo Belz pela ajuda durante as intermináveis horas desmontando as tubulações do laboratório para retirada de amostras e pelas lutas contra as roscas dos parafusos que teimavam em espanar nos momentos mais difíceis. Ao pessoal da UHEGJR (Salto Caxias) pelo apoio total nos experimentos.

Gostaria de agradecer ao Dr. Vitoldo Swinka Filho e a Dra. Marilda Munaro banca de qualificação, ao Dr. Walter Antonio Pereira Boeger e Dr. Paulo Janissek banca da defesa, pelas valiosas contribuições na dissertação. Ao Vitoldo agradeço também pelo valioso conhecimento adquirido durante sua disciplina de Instrumentação Científica e na Prática de Docência.

Ao Dr. Cleverson Andreoli pelos primeiros ensinamentos e por me transmitir toda a sua paixão pela pesquisa, posso dizer que hoje sou um pesquisador graças ao caminho que me ajudou a trilhar, com suas inúmeras palavras de incentivo e seu jeito único de mostrar que os textos dos nossos artigos e relatórios poderiam ficar melhores, sem nunca contestar, sempre elogiado e nos fazendo entender o melhor caminho. Aos doutores Ariel Scheffer da Silva, Carlos Eduardo Belz, Charles Carneiro, Eduardo Pegorini e Andréia Cristina Ferreira pelos anos de trabalho em conjunto, no qual pude aprender e adquirir um pouquinho da experiência destes grandes pesquisadores. A todos que contribuíram com minha formação profissional no GECIP (SANEPAR) e no DPRA e DPMB (LACTEC).

Ao meu orientador Dr. Kleber Franke Portella pessoa fundamental na caminhada no mestrado, suas considerações em conversas rápidas e objetivas me fizeram ver que muitas vezes complicamos o que pode ser simples. Espero poder contar com sua orientação muito em breve no doutorado também! Ao meu co-orientador Dr. Paulo J. Ribeiro Jr. pela ajuda com as análises estatísticas.

A minha esposa Juliana por todo amor e por segurar sozinha uma boa parte da minha responsabilidade com a casa e os filhos durante este período complicado. Aos meus filhos Yago e

Camila pelo entendimento dos momentos de ausência do pai e pelos beijos e abraços que me deram muita força para continuar na luta.

Aos meus pais Juarez e Eliana pessoas fantásticas que sempre me fizeram entender que o estudo vem em primeiro lugar, pela dedicação com os filhos e pelos bons exemplos para formação do nosso caráter. A minha irmã Michelle pelo companheirismo e pelo apoio, mesmo morando em outro estado. Dedico este mestrado a vocês!!!!

Aos amigos Murillo, Renata, Fabiano, Ana Clara, Ricardo, Camila e Lauro pelos maravilhosos churrascos, pelos finais de semana na praia e pelas horas de surf juntos, de fundamental importância para dar uma esfriada na cabeça e poder retomar a dissertação novo em folha. Pelo incentivo e comemorações que fizemos a cada etapa do mestrado concluída!!!!

Uma homenagem especial a amiga, chefe e companheira de trabalho Sandra Mara Alberti, que sempre me incentivou a ingressar no mestrado e infelizmente faleceu antes que eu pudesse concluí-lo. Uma pessoa iluminada, que passou por esse mundo semeando sabedoria, paz e amor. Você com certeza será eterna na vida das pessoas que tiveram o privilégio de estar ao seu lado!

Muito obrigado!

ÍNDICE GERAL

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Siglas e Abreviaturas	xiv
Lista de Símbolos e Unidades	xv
Resumo	xvi
Abstract	xvii

CAPÍTULO – I

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	18
1.1 Prefácio	18
1.2 Características da pesquisa.....	19
1.3 Publicações oriundas do projeto de pesquisa.....	19
1.3.1 Publicações em revistas.....	20
1.3.2 Publicações em Congressos Nacionais e Internacionais	20
1.4 Objetivo	22
1.4.1 Objetivos Específicos.....	22
1.5 Área de Estudo	23
1.6 Caracterização do problema.....	23
1.6.1 Experimentos preliminares em sistemas de resfriamento	26

CAPÍTULO – II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1 Espécies Invasoras.....	33
2.1.1 Hidróide invasor <i>Cordylophora caspia</i>	33

2.1.2	Atualização da dispersão de <i>Cordylophora caspia</i> na América do sul.	35
2.1.3	Molusco invasor <i>Limnoperna fortunei</i>	36
2.1.4	Atualização da dispersão do <i>L. fortunei</i> na América do sul.....	37
2.1.5	Impactos ambientais causados pelas espécies	39
2.1.6	Impactos econômicos	40
2.2	Lama ferruginosa ou “fouling”.....	42
2.3	Sistema de resfriamento	42
2.4	Métodos de controle	44
2.4.1	Dicloro isocianurato de sódio	45
2.4.2	MXD 100	48
2.4.3	Hidróxido de sódio.....	50
2.5	Corrosão em materiais metálicos	51

CAPÍTULO – III

3.	METODOLOGIA	54
3.1	Construção do sistema de ensaios e metodologia dos experimentos.	54

CAPÍTULO – IV

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.3	Análises Estatísticas	75
4.3.1	Análises exploratórias dos dados.....	75
4.3.2	Modelagem estatística	78
4.3.3	Corrosão	82

CAPÍTULO – V

5.	CONCLUSÕES	84
6.	TRABALHOS FUTUROS.....	85
7.	REFERÊNCIAS.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Desenho esquemático da barragem da Usina Governador José Richa (Salto Caxias).	23
Figura 2- Filtro entupido pelo acúmulo do organismo colonial estolonado.	24
Figura 3- Trocador de calor casco tubo – Radiador: entupido pelo acúmulo de hidróides e mexilhão dourado.	24
Figura 4 - Foto ilustrativa dos tanques de armazenamento dos organismos vivos para a realização dos tratamentos físico-químicos de controle das espécies invasoras.	26
Figura 5 - Análise de foto do trocador de calor sujo.	29
Figura 6 - Análise de foto do trocador de calor após processo de limpeza.	29
Figura 7– Trocador de calor sem tratamento aberto após 87 dias de experimento, apresentando grande quantidade de hidrozoários e lama (“fouling”).	30
Figura 8– Trocador de calor com injeção de NaOH aberto após 87 dias de experimento.	31
Figura 9- Trocador de calor aberto após 10 meses operando a pH 9, sem incrustação de hidrozoário e com pouca quantidade de lama.	32
Figura 10 - Representação da organização corporal e estruturas do organismo <i>Cordylophora sp</i> (modificado de Morri, 1980).	34
Figura 11 - Registro fotográfico de um gastrozoóide do organismo <i>Cordylophora caspia</i> encontrado no log-boom da UHEGJR.	34
Figura 12 - Dispersão de <i>C. caspia</i> na América do Sul.	35
Figura 13 - Foto ilustrativa e anatomia do <i>Limnoperla fortunei</i> (modificado de Morton, 1973).	36
Figura 14 - Detalhe de colônia de <i>L. fortunei</i> aderida em hidrozoários <i>Cordylophora caspia</i>	37
Figura 15 – Dispersão de <i>Limnoperla fortunei</i> na América do Sul.	38
Figura 16 - Porcentagem de gastos com o mexilhão zebra nos EUA por setor afetado. Modificado de O’ Neill (1997).	41
Figura 17 - Sistema de injeção de dicloro da usina de Porto Primavera – CESP. 1 -Estrutura utilizada para diluição do dicloro. 2 – ponto de injeção do produto no sistema de resfriamento. 3 – Sistema de controle com sensor e controlador para	

injetar o produto automaticamente de acordo com a leitura do cloro residual. 4 – Bomba de injeção.	47
Figura 18 - Sistema de injeção de MXD 100 na UHEGJR – COPEL. 1 – Tanques de MXD 100 ao lado do filtro <i>conoflow</i> , nas 4 unidades. 2 – Detalhe da bomba de injeção.....	49
Figura 19 - Sistema de injeção de NaOH da usina Governador José Richa. 1 – Tanques de armazenamento de NaOH. 2 – Sensores de pH. 3 – Bomba de injeção. 4 – Controlador do sistema de injeção automática.....	51
Figura 20– Projeto do sistema de ensaio de combate bioincrustação.....	54
Figura 21 - Laboratório de pesquisas em espécies invasoras, LPEI, em operação na UHEGJR.	55
Figura 22- Detalhe das tubulações de amostras, válvula, flange, niple onde o trilho com os corpos de prova corre internamente.	56
Figura 23 - Pontos de injeção dos três produtos químicos e do controle, antes de passarem pela chicane e se dividirem nas tubulações com os corpos de prova.	57
Figura 24 – Bombas de injeção e controladores utilizados na malha de controle do laboratório de ensaios.	57
Figura 25- Trilho com os corpos de prova.	58
Figura 26 – Placas de aço carbono coletadas no laboratório da UHEGJR.....	59
Figura 27 – Análise das amostras em microscópio estereoscópio.....	59
Figura 28 - Limpeza química e pesagem das placas.....	60
Figura 29- Corpo de prova antes e após limpeza química com a solução de Clarke.	60
Figura 30 – Análise de corrosão nos CP's.	61
Figura 31 – Análise de corrosão alveolar nos CPs da 12ª coleta utilizando um Calibrador Extensômetro.....	61
Figura 32 – Equipamentos Pneumet I e Ecomet III, utilizados para embutir, lixar e polir as amostras.	62
Figura 33 – Análise das amostras no Banco Metalográfico MM6.	62
Figura 34 – Médias da temperatura da água na entrada do sistema de resfriamento da unidade 1.	63
Figura 35 – Densidade média de larvas de <i>Limnoperna fortunei</i> /m ³ na UHEGJR, durante o período do experimento.	64

Figura 36 – Densidade média de <i>L. fortunei</i> /m ² , nos corpos de prova dos três tratamentos e do controle.	64
Figura 37 – Eficiência dos tratamentos no controle do <i>Limnoperna fortunei</i>	66
Figura 38 – Média da quantidade de fouling nos corpos de prova.	66
Figura 39 – Eficiência dos tratamentos no controle da deposição de fouling.	67
Figura 40 - Distribuição comparativa sem e com tratamento (soma dos 3 tratamentos) das freqüências de tamanho para intervalos de classe de 1 mm. Eixo y – freqüências de tamanhos expressa em percentagem. Eixo x – Comprimentos das conchas representando as classes de tamanho entre 1 e 19 mm. Os números apresentados no eixo x correspondem ao maior tamanho para cada classe.	68
Figura 41 - Distribuição das freqüências de tamanho para intervalo de classe de 1mm. Eixo y – freqüências de tamanhos expressa em percentagem. Eixo x – Comprimentos das conchas representando as classes de tamanho entre 1 e 12mm. Os números plotados no eixo x correspondem ao maior tamanho para cada classe... ..	69
Figura 42 – Percentagem média de massa reduzida nos 3 tratamentos e no controle.	70
Figura 43 - Média de espessura das bordas dos CP's.	71
Figura 44 - Média de espessura do centro dos CP's.	71
Figura 45 – Média de corrosão alveolar nos CP's.	72
Figura 46 - Detalhes da corrosão no CP do experimento de controle, visualizado em microscópio estereoscópio.	72
Figura 47 - Detalhes da corrosão no CP do experimento de dicloro, visualizado em microscópio estereoscópio.	73
Figura 48 - Detalhes da corrosão no CPs do experimento de MXD 100, visualizado em microscópio estereoscópio.	73
Figura 49 - Detalhes da corrosão no CP do experimento de NaOH, visualizado em microscópio estereoscópio.	73
Figura 50 – Comparação da análise de corrosão alveolar nos CPs da 12 ^a coleta.	74
Figura 51 – Foto em microscópio do perfil dos CPs da 12 ^a coleta, com indicação dos pontos de corrosão alveolar mais profundos.	74
Figura 52 - Medidas de comprimento e largura dos mexilhões coletados no experimento.	75

Figura 53 - Relação entre comprimento e largura dos mexilhões coletados no experimento	76
Figura 54 - Comprimento dos mexilhões medidos ao longo do experimento para o total de observações e nos diferentes tratamentos.....	77
Figura 55 - Comprimento dos mexilhões em relação à posição nas placas (S – superior, I – inferior e L – solto no frasco de coleta com a lama).	78
Figura 56 - Ajustes para evolução das contagem para cada tratamento segundo modelo binomial negativo selecionado.	80
Figura 57 - Ajustes para evolução das contagem para cada tratamento segundo modelo binomial negativo selecionado.	81
Figura 58 - Modelo ajustado com termo de curvatura fig:quad	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico da densidade de <i>L. fortunei</i> nas grades de tomada d'água da usina Governador José Richa, durante o início da invasão.	25
Tabela 2 – Distribuição de classes nas áreas selecionadas – trocador de calor sujo.	29
Tabela 3 - Distribuição de classes nas áreas selecionadas – trocador após processo de limpeza.....	30
Tabela 4 - Classificação da espécie <i>Cordylophora caspia</i>	34
Tabela 5 - Classificação da espécie <i>Limnoperna fortunei</i>	36
Tabela 6 - Limites ambientais de <i>L. fortunei</i> (segundo Darrigran, 2002)	37
Tabela 7 - Alterações no ecossistema associado à introdução de <i>Limnoperna fortunei</i> . Modificado de Belz (2006).	40
Tabela 8 - Efeitos da cloração no mexilhão zebra.....	48
Tabela 9 - Número total de indivíduos encontrados em cada tratamento, durante os 12 meses de experimento.....	65
Tabela 10 – Análise da espessura nos CPs da 12 ^a coleta	74
Tabela 11 - Estimativas dos contrastes	83

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CESP - Companhia Energética de São Paulo

COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica

CP'S – Corpos de prova

IND - Indivíduos

NaOH – Hidróxido de Sódio

LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento

L. fortunei – *Limnoperla fortunei* (mexilhão dourado)

C. caspia - *Cordylophora Caspia*

Maxclean - Maxclean Ambiental & Química S.A.

MXD 100 - Produto comercial da empresa Maxclean

UHGJR – Usina Hidrelétrica Governador José Richa (Salto Caxias)

Us. - Usinas

Co – Corrosão

S – Lado superior dos corpos de prova

I – Lado inferior dos corpos de prova

L – Mexilhões soltos com a lama no fundo dos frascos de amostra

“Log boom” – estruturas metálicas acopladas em bóias, que enfileiradas, ocupam os primeiros metros da profundidade de um reservatório, formam uma linha para reter todo tipo de resíduo que esteja presente na água, como madeiras, macrófitas e outros materiais flutuantes, assim evitando que cheguem ao gradeamento que protegem a entrada da água a turbinas de usinas hidrelétricas.

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

% - por cento

cm - centímetro

g - grama

ind/m² – indivíduos por metro quadrado

L - litro

m² – metro quadrado

ml - mililitro

m/s – metros por segundo

Mw – megawatts

pH - potencial de hidrogênio iônico

ppm – partes por milhão

μm - micrômetro

MD – mexilhão dourado

RESUMO

A construção de reservatórios de usinas hidrelétricas, para geração de energia elétrica, se tornou o ambiente ideal para proliferação de organismos invasores. A usina hidrelétrica governador José Richa (Salto Caxias), vem apresentando problemas com a introdução de duas espécies invasoras: o molusco *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), conhecido como mexilhão dourado e o hidróide *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidária). Estas espécies se encontram atualmente em grandes densidades no reservatório e na usina, causando grande aumento de mão de obra para limpeza dos sistemas, além de desgastes nos equipamentos e borrachas de vedação. O presente trabalho tem como objetivo analisar três metodologias para controle dessas espécies invasoras em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas: o dicloroisocianurato de sódio, o hidróxido de sódio e o MXD 100. Entre os meses de junho de 2010 e maio de 2011, após a construção de um laboratório na usina governador José Richa, com um sistema que visa simular as mesmas condições dos pontos críticos do sistema de resfriamento, os três tratamentos foram realizados de forma simultânea, possibilitando compará-los exatamente nas mesmas condições. Foram analisados a eficiência dos produtos para o controle de incrustação de espécies invasoras, o acúmulo de lama ferruginosa e o impacto dos produtos no aço carbono, material presente na maior parte do sistema de resfriamento. O resultado deste estudo demonstrou que o hidróxido de sódio e o MXD 100 foram os sistemas de tratamento que se destacaram pelas suas eficiências no controle do *L. fortunei* e na proteção a corrosão microbiológica do aço carbono. Porém, os dois produtos apresentaram prós e contras que devem ser levados em consideração na hora da sua escolha.

Palavras-chave: Espécies invasoras, *Limnoperna fortunei*, *Cordylophora Caspia*, fouling, controle, bioincrustação, corrosão, sistemas de resfriamento, usinas hidrelétricas.

ABSTRACT

The construction of hydroelectric reservoirs for power generation has become an ideal environment for proliferation of invasive organisms. The hydroelectric power station Governor José Richa (Caxias) suffers with the introduction of two invasive species: the bivalve mollusk *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), known as “golden mussel”, and the hydroid *Cordylophora Caspia* (Pallas, 1771), which are currently in high densities in the reservoir and power plant. The presence of these species causes a great increase in manpower for cleaning out the system, besides equipment and gaskets wear. This study aims to examine three methods for controlling invasive species in the cooling systems of power plants: the sodium dichloroisocyanurate, sodium hydroxide and MXD 100. A laboratory equipped with a system designed to simulate the same conditions of the critical points of the cooling system was constructed at the station. All three treatments were performed simultaneously, among June 2010 and May 2011, so it was possible to compare each other under the same conditions. We analyzed the efficiency of these products for controlling fouling of invasive species, the accumulation of ferruginous mud and the impact of products in carbon steel, the material present in most cooling systems. The result of this study showed that sodium hydroxide and MXD 100 were processing systems that stood out for their efficiencies in control of *L. fortunei* and protect microbiological corrosion of carbon steel. However, the two products have pros and cons that must be taken into account at the time of your choice.

Keywords: Invasive species, *Limnoperna fortunei*, *Cordylophora Caspia*, fouling, control, biofouling, corrosion, cooler systems, hydroelectric power station.

CAPÍTULO – I

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 PREFÁCIO

Os sistemas de resfriamento das usinas hidrelétricas são de fundamental importância para dissipar o aumento térmico causado durante o funcionamento dos geradores e demais equipamentos, pelas trocas térmicas, seja com o ar, água ou algum outro sistema. A bioincrustação nestes sistemas gera perda na eficiência de troca térmica, podendo causar inúmeros problemas, desde aumento de mão-de-obra até mesmo a parada de máquinas (unidades inteiras) para manutenção.

Problemas com bioincrustações em usinas hidrelétricas brasileiras são recentes apesar de, na grande maioria, apresentarem sistemas de resfriamentos abertos. Com o aumento da globalização o problema da introdução de espécies invasoras na água de lastro de navios cargueiros está causando diversos prejuízos a usinas, indústrias, companhias de abastecimento de água e ao meio ambiente. Em 2001, o mexilhão dourado foi reportado pela primeira vez no reservatório da Usina de Itaipu, causando grandes problemas à empresa. Hoje o molusco invasor já está presente em diversas usinas de São Paulo, Minas Gerais e, inclusive, do interior do Paraná, como a usina de governador José Richa que já apresenta densidades próximas de 150.000 ind/m² e continua sua dispersão pelo interior do Brasil.

Até o momento, poucos estudos de metodologias de controle de bioincrustação vêm sendo realizados, sendo a maior parte nos Estados Unidos para o mexilhão zebra. Estes trabalhos normalmente apresentam resultados positivos em laboratórios, mas em um ambiente industrial tornam-se inviáveis, seja pelo fator econômico ou pela dificuldade de sua aplicação, como grandes quantidades de água nos sistemas de resfriamento, ataques químicos a componentes dos equipamentos, turbidez da água e muitos outros fatores.

Este trabalho tem como objetivo promover o conhecimento sobre as medidas de controle da incrustação de organismos invasores nos materiais constantes nos sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas.

1.2 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA

Esta dissertação de mestrado foi realizada no Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais (PIPE), vinculado ao Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Este estudo faz parte de um projeto de pesquisa do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) financiado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e pela Agência Nacional de Energia Elétrica. O projeto teve início em 2003 com o título “Desenvolvimento de sistema de detecção de organismos invasores, por meio de marcador molecular, estudo de riscos operacionais / ambientais e sistemas de controle utilizando como modelo o *Limnoperna fortunei*”. Em 2004, devido à primeira ocorrência de um organismo invasor incrustante em um reservatório da COPEL o projeto foi renovado com o título “Avaliação preliminar das espécies aquáticas invasoras e medidas emergenciais de controle na usina de Salto Caxias”. Em 2005, devido a diversos problemas com espécies invasoras, enfrentado pelo setor elétrico, o projeto foi novamente renovado com o título “Programa de avaliação e controle de espécies aquáticas invasoras na bacia do rio Iguaçu”. A partir de 2008, até o presente momento, o projeto de pesquisa passou a ser contratado diretamente pela COPEL, sem o custeio da ANEEL, com o título “Controle e monitoramento de espécies aquáticas invasoras na bacia do rio Iguaçu”.

1.3 PUBLICAÇÕES ORIUNDAS DO PROJETO DE PESQUISA

Projetos de pesquisa devem, além de gerar o conhecimento sobre um determinado tema, servir para divulgar as informações e os resultados gerados no meio técnico-científico. Desta forma, as hipóteses e o conhecimento podem ser melhorados, discutidos e complementados. Na sequência, está apresentada a lista de publicações do projeto de pesquisa que embasou esta dissertação.

1.3.1 Publicações em revistas

- MÄDER NETTO, O. S.; BELZ, C. E. 2010. Controle da bioincrustação em sistemas de resfriamentos de usinas hidrelétricas com injeção de hidróxido de sódio. Revista Ação Ambiental, ano 13 – n 43, PP 35 – 37.
- BELZ, C. E.; DARRIGRAN, G.; BONEL, N.; MÄDER NETTO, O. S. Density, recruitment and shell growth of the *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) an invasive mussel in tropical South America. Journal of Freshwater Ecology, vol 25, n 2 – junho de 2010. Pp. 227 a 233.
- MÄDER NETTO, O. S.; BELZ, C. E. Uma solução para o combate a espécies aquáticas invasoras. Revista Pesquisa e Desenvolvimento Copel, 2009.
- BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; SILVA, A. S. da; BORGES, P. D.; DUARTE, J.; FREITAS, L. C.. 2008. Programa de Avaliação e Controle de Espécies Aquáticas Invasoras na Bacia do Rio Iguaçu, Paraná. Eletroevolução. Ed. Rona, n. 51, pp. 27 – 32.
- BELZ, C.E.; BOEGER, W.A.P.; ALBERTI, S.M.; PATELLA, L. and VIANNA, R.T. 2005. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em reservatórios e sistemas de usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia – Copel. Acta Biologica Leopondensia 27, 123-126.

1.3.2 Publicações em Congressos Nacionais e Internacionais

- BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; BORGES, P. D.; DUARTE, J.; CARDOSO, C. G; LEITÃO, F. H. M.; BASTOS, L. P.; SILVA, S. C. A.; LARA, M. M. Análise da densidade larval do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) em reservatórios de usinas hidrelétricas no rio Iguaçu, Paraná. In: XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2010, Belém / PA.
- SILVA, S. C. A.; BELZ, C. E.; BORGES, P. D.; CARDOSO, C. G.; MÄDER NETTO, O. S.; BASTOS, L. P.; LEITÃO, F. H. M.; DUARTE, J. Análise morfométrica de estágios larvais de *Limnoperna fortunei* no rio Iguaçu, PR, Brasil. In: XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2010, Belém / PA.
- BORGES, P. D.; BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; HADDAD, M. A.; DUARTE, J.; BASTOS, L. P.; CARDOSO, C. G; LEITÃO, F. H. M. Distribuição da espécie invasora *Cordylophora caspia* (Cnidária) em rios brasileiros e seus impactos para a geração de energia elétrica. In: XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2010, Belém / PA.
- MÄDER NETTO, O. S.; BELZ, C. E.; DUARTE, J.; BORGES, P. D.; LEITÃO, F. H. M.; BASTOS, L. P.; CARDOSO, C. G. Avaliação do impacto ambiental causado pela injeção de hidróxido de sódio para controle da bioincrustação

em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas. In: XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2010, Belém / PA.

- MÄDER NETTO, O. S.; BELZ, C. E.; DUARTE, J.; BORGES, P. D.; LEITÃO, F. H. M.; BASTOS, L. P.; CARDOSO, C. G. Programa de Avaliação e Controle de Espécies Aquáticas Invasoras na Bacia do Rio Iguaçu, Paraná. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.
- BELZ, C. E.; SILVA, A. S. da; MÄDER NETTO, O. S. A Análise da Dispersão do Molusco Invasor *Corbicula fluminea* na América do Sul como Ferramenta de Prevenção da Bioinvasão por *Limnoperna fortunei*. In: VII Congresso Latinoamericano de Malacologia, 2008, Valdivia. Libro de Resúmenes, 2008. p.50 – 50.
- BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; BOEGER, W. A; SILVA, A. S. da. Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) na bacia do rio Iguaçu, Paraná, Brasil. In: XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2008, Curitiba / PR.
- BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S. O Transporte de Areia como Vetor de Dispersão de Moluscos Bivalves Invasores no Estado do Paraná, Brasil. In: VII Congresso Latinoamericano de Malacologia, 2008, Valdivia. Libro de Resúmenes. 2008. p.49 – 49.
- BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S. O transporte de peixes vivos como vetor de dispersão do molusco invasor *Limnoperna fortunei* no Estado do Paraná. In: XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2008, Curitiba / PR. XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia. , 2008.
- BORGES, P. D.; BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; HADDAD, M. A.; SILVA, A. S. da. Crescimento e recrutamento da espécie invasora *Cordylophora caspia* (Cnidaria) no reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, Rio Iguaçu, Paraná. In: XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2008, Curitiba / PR. XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia. , 2008.
- BONEL, N.; BELZ, C. E.; COLAUTTI, D.; MÄDER NETTO, O. S.; DARRIGRAN, G. Densidad, Reclutamiento y Crecimiento Individual del Bivalvo Invasor *Limnoperna fortunei* (MYTILIDAE) en un Clima Subtropical. In: VII Congresso Latinoamericano de Malacologia, 2008, Valdivia. Libro de Resúmenes. 2008. p.131 – 132.
- MÄDER NETTO, O. S.; BELZ, C. E.; BORGES, P. D. Bioincrustação de *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) em Diferentes Substratos Artificiais no Reservatório da Usina Hidrelétrica Governador José Richa, rio Iguaçu, Paraná, Brasil. In: VII Congresso Latinoamericano de Malacologia, 2008, Valdivia. Libro de Resúmenes. , 2008. p.63 – 64.

- MÄDER NETTO, O. S.; BELZ, C. E.; BORGES, P. D.; SILVA, A. S. da; FREITAS, L. C.. Ocorrência de moluscos bivalves invasores no Rio Iguaçu, Paraná. In: XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2008, Curitiba / PR. XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia. , 2008.
- BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; SILVA, A. S. da; FREITAS, L. C.; DUARTE, J. Programa de avaliação e controle de espécies aquáticas invasoras na bacia do Rio Iguaçu, Paraná. 19º Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE). 2007.
- BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; SILVA, A. S.; BORGES, P. D. Levantamento de Espécies Aquáticas Invasoras do rio Iguaçu. V Mostra e Seminário de Educação Ambiental do Parque Nacional do Iguaçu. 2006.
- LASLOWSKI, R.; BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; ALBERTI, S. M.; SILVA, A. S.; BOEGER, W. A. Desenvolvimento de sistema de detecção de organismos invasores, por meio de marcador molecular, estudo de riscos operacionais / ambientais e sistemas de controle utilizando como modelo o *Limnoperna fortunei*. III Citenel - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. 2005.
- BELZ, C. E.; MÄDER NETTO, O. S.; SILVA, A. S.; BOEGER, W. A.; ALBERTI, S. M.; RODRIGUES, L. H. Prospecção de moluscos bivalves invasores na bacia do rio Iguaçu, Paraná. XIX Encontro Brasileiro de Malacologia. 2005.

1.4 OBJETIVO

Avaliar e comparar a eficiência do dicloro, MXD 100 e do hidróxido de sódio no controle da incrustação de espécies invasoras e lama ferruginosa em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas.

1.4.1 Objetivos Específicos

- Estudar o impacto (corrosão) dos produtos químicos e dos organismos no aço carbono;
- Avaliar a possibilidade de redução na mão de obra da manutenção mecânica das usinas hidrelétricas com limpezas manuais dos sistemas de resfriamento;

- Diminuir o custo de manutenção e desgaste dos equipamentos do sistema de resfriamento devido ao excesso de aberturas para limpeza;
- Minimizar a frequência das paradas de máquinas não programadas em usinas hidrelétricas devido a problemas de biofouling;

1.5 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em um laboratório construído na Usina Governador José Richa (Salto Caxias) (Figura 1). Esta usina pode ser considerada uma das mais importantes da COPEL (Companhia Paranaense de Energia) e possui a capacidade de 1.240 MW de potência. Está situada no rio Iguaçu (25°32'30''S; 53°29'51''O), no Município de Capitão Leônidas Marques, Paraná a 600 km de Curitiba. Devido à sua localização, próxima à foz do Rio Iguaçu, portanto, em um local considerado crítico quanto à presença de organismos invasores. O rio Iguaçu é afluente do Rio Paraná caracterizando esta área como um corredor de bioinvasões, sendo este, o principal trajeto de entrada de espécies invasoras aquáticas para o interior do estado.

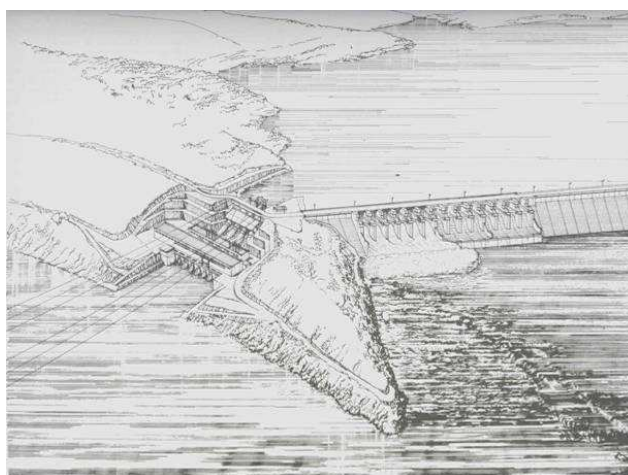


Figura 1- Desenho esquemático da barragem da Usina Governador José Richa (Salto Caxias).

1.6 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em fevereiro de 2004, durante as inspeções e coletas de amostras de água no reservatório da Usina Governador José Richa foi observada a presença de um

hidrozoário invasor, o *Cordylophora caspia*. Este microorganismo também foi encontrado nos filtros e trocadores de calor, conforme mostrado na Figura 2 e na Figura 3, respectivamente, bem como nas tubulações do sistema de resfriamento das unidades geradoras. Nesta última, houve como consequência direta aumentos da temperatura da máquina, observada pelas equipes de operação e manutenção da usina.



Figura 2- Filtro entupido pelo acúmulo do organismo colonial estolonado.



Figura 3- Trocador de calor casco tubo – Radiador: entupido pelo acúmulo de hidróides e mexilhão dourado.

No dia 02 de maio de 2006, durante a parada de máquinas, foi constatada a primeira ocorrência de organismos adultos da espécie *Limnoperna fortunei*, conhecida vulgarmente como mexilhão dourado na Usina de Salto Caxias (Mäder Netto *et al*, 2008).

Após ser detectada esta invasão no reservatório de Salto Caxias, todas as paradas de manutenção foram acompanhadas para inspeção das grades de tomada

d'água e câmara da comporta. Amostras de materiais foram coletadas destes dois locais para a contagem do número de mexilhões aderidos ao substrato. Foram identificadas colônias do hidróide *C. caspia*, da esponja do gênero *Corvospongila* e de *L. fortunei*. As concentrações do mexilhão dourado aumentaram consideravelmente entre os meses de maio de 2006 e agosto de 2007, conforme pode ser observado na Tabela 1 e passaram de 0,37 indivíduos/m² para 149.000 ind./m² em aproximadamente, 1 ano e 3 meses. Este número corresponde a um período de intenso recrutamento de indivíduos jovens, característico deste processo inicial de colonização, onde a grande maioria destes tem tamanho entre 1 e 5 mm.

Tabela 1 – Histórico da densidade de *L. fortunei* nas grades de tomada d'água da usina Governador José Richa, durante o início da invasão.

Data	Mexilhões/m²
Maio de 2006	0,37
Novembro de 2006	62
Agosto de 2007	149.000

Segundo PHILLIPS *et al.* (2005) a extensa proliferação e fixação de moluscos em usinas hidrelétricas pode provocar, principalmente:

- entupimento ou redução da seção de tubulações;
- decomposição de material orgânico;
- aumento na corrosão de tubulações, ligas metálicas, concreto e polímeros, pela proliferação de outros agentes biológicos indesejáveis (bactérias, fungos, etc.);
- diminuição da vida útil de equipamentos pelo aumento da manipulação durante a manutenção.
- aumento da mão-de-obra para limpeza ou troca de encanamentos, filtros, etc.;
- redução da velocidade do fluxo de água em tubulações devido a perdas por fricção (fluxos turbulentos);
- acumulação de valvas vazias e contaminação das vias de água por mortalidade massiva, devido a inadequados tratamentos de controle;

- oclusão de filtros; e
- redução da eficiência de equipamentos de troca térmica.

1.6.1 Experimentos preliminares em sistemas de resfriamento

Dois testes de tratamento físico-químico foram realizados em laboratório, para a seleção da metodologia. O primeiro, foi um teste preliminar para averiguar os efeitos de 4 tratamentos químicos diferenciados sobre o hidróide invasor *C. caspia* e duas espécies de esponjas. Foram utilizadas soluções de ácido clorídrico, hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio e tratamento de ozônio com os organismos incrustantes coletados nos “*log booms*” da usina de Salto Caxias. O segundo foi realizado nas dependências da casa de barcos da Usina de Salto Caxias, para a utilização de organismos vivos sob os tratamentos físico-químicos mais eficientes, conforme foto mostrada na Figura 4.



Figura 4 -Foto ilustrativa dos tanques de armazenamento dos organismos vivos para a realização dos tratamentos físico-químicos de controle das espécies invasoras.

O ensaio foi montado utilizando nove unidades experimentais compostas por recipientes plásticos com 14 l de água, aeradores, circuladores de água, aquecedores e termômetros individuais. Nos tratamentos foram utilizadas três

réplicas que recebiam a mesma concentração de reagentes, e três réplicas de controle, contendo água natural do reservatório.

Antes de cada tratamento, foram realizadas coletas dos dois organismos teste no “*log boom*” e estes transportados em baldes com sistemas de aeração e controle da temperatura, para diminuir o grau de stress e não comprometer a integridade dos mesmos. Os organismos foram separados proporcionalmente pelo número de pólipos ou área de cobertura e distribuídos nas unidades experimentais descritas anteriormente.

Para a realização do projeto foram utilizados dois tipos diferentes de reagentes (hipoclorito de sódio e hidróxido de sódio). Para tanto, foram utilizadas as seguintes concentrações de cada reagente: 100, 250 e 400 ppm. Para cada experimento, foram utilizadas três réplicas, sempre mantendo três unidades de controle com organismos íntegros, recém coletados e sob mínimas condições de estresse ambiental.

Foram realizadas, também, análises de parâmetros bióticos e abióticos antes de colocar os indivíduos na água, após 2 e 3 h, respectivamente. As amostras foram analisadas com auxílio de um microscópio estereoscópio e incluíram a contagem do número de pólipos íntegros, a cor, motilidade e integridade dos organismos. Usando um pHmetro e um termômetro, foram feitas leituras de pH e temperatura da água no experimento e a temperatura no hábitat natural.

Como referência, foi utilizada a contagem de mais de trinta pólipos íntegros por experimento. A motilidade recebeu índices de qualidade, sendo de dois a zero para normal, baixa e nula. O mesmo ocorreu para a integridade do organismo, mas adotando índices de três a zero, para alta, média, baixa e destruída respectivamente.

Nos testes iniciais foi possível observar a destruição das partes orgânicas do hidrozoário (zoóides), nas aplicações de hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio e ácido clorídrico (30% v/v). Neste ensaio inicial, o tratamento com o hidróxido de sódio (30% m/v), aumentando o pH para 11, foi mais efetivo, destruindo rapidamente os tecidos expostos (gastrozoóides). Os tecidos protegidos por cutícula não apresentaram alterações marcantes, a não ser mudanças na coloração. Os tratamentos com hipoclorito de sódio e ácido (pH 3,5), apesar de afetarem os tecidos e matarem os gastrozoóides, apresentaram efeitos menos marcantes e mais demorados do que o tratamento com hidróxido de sódio. O tratamento com ozônio

não afetou a estrutura física dos zoóides e, após 2 h de tratamento os tentáculos ainda apresentaram movimentos e seus tecidos apresentavam-se íntegros.

No segundo teste de tratamento físico-químico, constatou-se que, tanto o hipoclorito como o hidróxido de sódio, obtiveram bons resultados na destruição dos pólipos do hidrozoário *C. caspia* e da matriz orgânica da esponja. Ocorreu, também, degradação da quitina dos hidrocaules quando foram utilizadas concentrações maiores (200 ppm e 400 ppm) de hidróxido de sódio durante as duas horas do experimento.

Como no primeiro ensaio, o efeito do hipoclorito na destruição de partes orgânicas foi melhor em elevadas concentrações e mantendo o pH do experimento na faixa de 9,0. Em concentrações menores, não foi mantida a eficiência em termos de degradação das estruturas dos organismos e levou mais tempo do que o tratamento com hidróxido de sódio. O hidróxido de sódio manteve o pH de 11,00 e, no período de 2 h, já havia destruído todas as partes orgânicas (pólipos e cenossarco), causando o início da degradação no perissarco e estruturas de quitina (escleroproteína) mesmo nas concentrações menos agressivas testadas.

Em um experimento preliminar no sistema de resfriamento da usina de Salto Caxias, foi injetado hidróxido de sódio em um trocador de calor, tipo placa, mancal guia do gerador. Este trocador, desde a sua última manutenção, estava em funcionamento há seis meses. A elevação de temperatura detectada, já sinalizava uma deficiência na troca térmica, exigindo uma parada para manutenção. Com o trocador de calor inserido no sistema de resfriamento, foi circulada uma solução aquosa a 5% de NaOH, e esta fez com que o meio tivesse uma elevação de pH de 7,11 para 12,84. O resultado foi a destruição completa das partes orgânicas do hidrozoário, deixando os tecidos protegidos por cutículas gelatinosas e quebradiças. O teste demonstrou eficiência na remoção da bioincrustação, diminuindo, consideravelmente, a porcentagem de cobertura, indicando que o trocador de calor pode continuar operando sem a necessidade de sua desmontagem para limpeza interna.

Com o auxílio do programa MultiSpecW32 (Figura 5 e Figura 6), as porcentagens de cobertura foram analisadas e classificadas em três classes: alto, baixo e nulo (Tabela 2 e Tabela 3), de acordo com o nível de bioincrustação da área analisada. No trocador de calor sujo, 55,1% da placa estava com alto índice de cobertura, 33,7% baixo e 11,3% nulo. Após a injeção de soda caustica 5% no

equipamento por, aproximadamente, 24 h, 29,5% da placa estava com alto índice de cobertura, 46,6% baixo e 23,9% nulo.

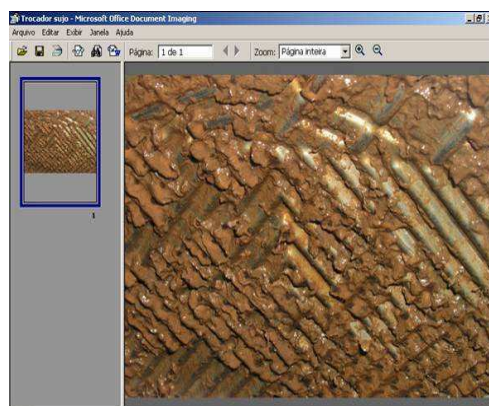


Figura 5 -Análise de foto do trocador de calor sujo.

Tabela 2 – Distribuição de classes nas áreas selecionadas – trocador de calor sujo.

	Classe	Número de amostras	Percentual
1	Alto	1.018.779	55,1
2	Baixo	622.384	33,7
3	Nulo	208.113	11,3
	<i>Total</i>	<i>1.849.276</i>	<i>100,0</i>

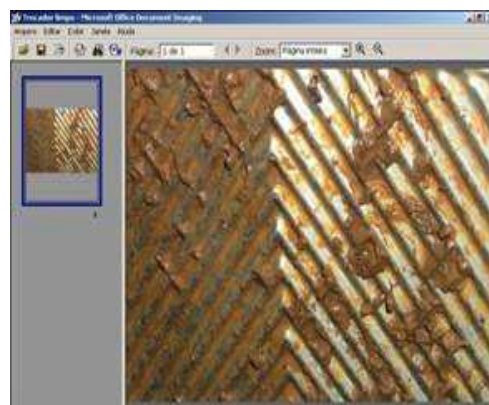


Figura 6 -Análise de foto do trocador de calor após processo de limpeza.

Tabela 3 - Distribuição de classes nas áreas selecionadas – trocador após processo de limpeza.

	Classe	Número de amostras	Percentual
1	Alto	600.539	29,5
2	Baixo	949.998	46,6
3	Nulo	487.983	23,9
	<i>Total</i>	<i>2.038.520</i>	<i>100.0</i>

O tratamento aplicado demonstrou eficiência na remoção da bioincrustação, diminuindo a porcentagem de cobertura de índice alto de 55,1% para 29,5%, o que tornou a circulação de hidróxido de sódio 5% uma boa solução para diminuir a quantidade de limpezas manuais dos trocadores de calor.

Em uma segunda etapa do experimento foi adotado o seguinte procedimento: dois trocadores de calor, mancal guia do gerador, de duas unidades do sistema de resfriamento foram limpos mecanicamente. Os dois trocadores foram colocados em operação sendo que um deles começou a receber a solução aquosa a 5% de NaOH injetada continuamente no sistema com o objetivo de manter o pH da água em 9. Após 87 dias, a região do trocador onde não havia sido feita a injeção do produto mostrou uma perda de eficiência na troca térmica e foi parado. Os dois trocadores de calor foram abertos, observando-se que o trocador de calor que funcionou sem a aplicação da correspondente solução de NaOH, apresentou grande incrustação de hidrozoários e lama. Já, no trocador de calor submetido à circulação do produto, ocorreram teores muito baixos de incrustação (Figura 7, Figura 8).



Figura 7– Trocador de calor sem tratamento aberto após 87 dias de experimento, apresentando grande quantidade de hidrozoários e lama (“fouling”).

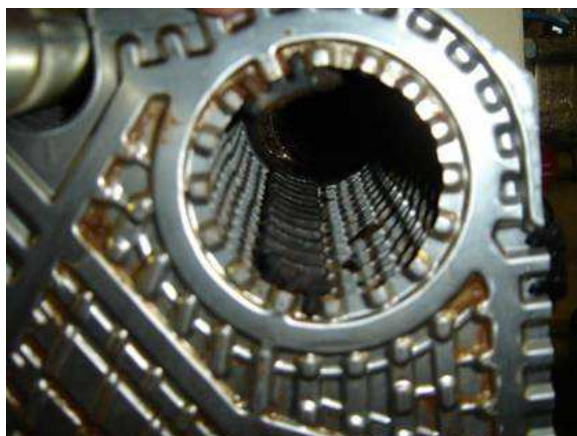


Figura 8– Trocador de calor com injeção de NaOH aberto após 87 dias de experimento.

Após a realização do experimento de 87 dias, iniciou-se um novo experimento com a mesma metodologia, porém, aplicada a apenas um trocador de calor para verificar o tempo máximo que o sistema poderia operar com a injeção de NaOH, sem apresentar redução em sua eficiência de troca térmica. Esta terceira etapa teve início no dia 5 de fevereiro de 2005, com o início da injeção de NaOH, mantendo o pH da água no interior do trocador em 9. Após 10 meses, o trocador de calor não apresentou perda na eficiência de troca térmica, mas o experimento foi encerrado devido ao término do ciclo do projeto. Ao ser aberto notou-se que o equipamento ainda se apresentava livre de organismos incrustantes e poderia ter ficado em operação por mais tempo (Figura 9). Este teste apresentou resultados muito promissores, com demonstração da melhoria da eficiência do sistema de resfriamento como um todo. Antes da detecção do hidrozoário invasor *C. caspia* no reservatório da usina, o tempo médio de reparo do trocador de calor era de 6 meses, ou seja, os guias de manutenção, baseados na experiência operacional da usina determinavam que a cada 6 meses era necessário efetuar uma limpeza mecânica nestes trocadores. Após a chegada do hidróide a limpeza dos trocadores passou a ser realizada de 2 em 2 meses, aumentando significativamente os custos de manutenção do sistema. Desta forma, novos experimentos devem ser realizados para que esta metodologia possa ser utilizada sem qualquer tipo de riscos para os sistemas de resfriamentos.



Figura 9- Trocador de calor aberto após 10 meses operando a pH 9, sem incrustação de hidrozoário e com pouca quantidade de lama.

CAPÍTULO – II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESPÉCIES INVASORAS

Uma espécie exótica (não nativa) pode ser considerada invasora, quando entra em um novo ambiente e passa a dominá-lo, se reproduzindo de forma descontrolada, causando impactos econômicos, ambientais ou sociais (“Executive Order 13112 - National Invasive Species Council – EUA”).

Segundo Di Castri (1989), a introdução de espécies em um ambiente pode ocorrer de forma natural, porém, a maioria dos casos tem grande correlação com a atividade humana e, em especial, com a expansão e a globalização do comércio. A navegação marítima, antigamente, pela incrustação em cascos de navios e atualmente pela descarga de água de lastro, é a maior responsável pelo transporte de espécies de plantas e animais, de um lugar a outro do planeta (Carlton, 1999 e Silva & Souza, 2004).

2.1.1 Hidróide invasor *Cordylophora caspia*

O hidróide *C. caspia* é um cnidário colonial incrustante, considerado originário do Mar Cáspio, possivelmente introduzido na América do Sul pelo estuário do rio da Prata por água de lastro de navios cargueiros ou incrustados em seus cascos. Nas Figura 10 e Figura 11, estão ilustradas, respectivamente, uma representação da estrutura corporal do organismo e uma imagem de um gastrozoóide da espécie encontrada em Salto Caxias. Na Tabela 4 é possível observar a classificação da espécie.

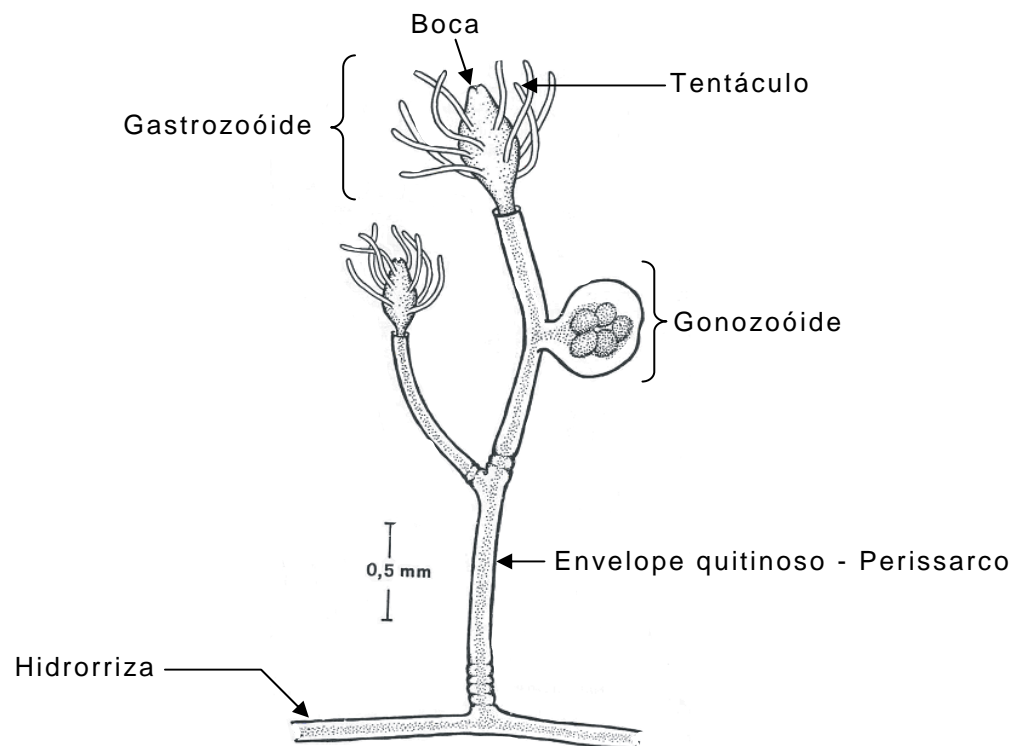


Figura 10 - Representação da organização corporal e estruturas do organismo *Cordylophora sp* (modificado de Morri, 1980).



Figura 11 - Registro fotográfico de um gastrozoóide do organismo *Cordylophora caspia* encontrado no log-boom da UHEGJR.

Tabela 4 - Classificação da espécie *Cordylophora caspia*

Classificação	
Filo	Cnidária
Classe	Hydrozoa (Huxley, 1856)
Subclasse	Anthomeduzae (Haeckel, 1879)
Família	<i>Clavidae</i>
Gênero	<i>Cordylophora</i>
Espécie	<i>Cordylophora caspia</i> (Pallas, 1771)

2.1.2 Atualização da dispersão de *Cordylophora caspia* na América do sul

O hidrozoa *C. caspia* é originário do mar Cáspio e, possivelmente, se espalhou por vários países na água de lastro de navios e por introduções passivas, com espécies aquáticas cultivadas. Embora, seja uma espécie de água salobra, esta se adapta e se desenvolve bem em ambientes dulcícolas onde não existem predadores e competidores naturais. Ocorreram registros desta espécie na região sudeste de São Paulo (Silveira & Boscolo, 1996), na Bacia do rio Paraná (Haddad & Nakatami, 1996), no Rio de Janeiro no reservatório da usina Hidrelétrica de Funil, Itatiaia (Furnas Centrais Elétricas) (Grohmann & Brum, 2007), na usina de Salto Caxias, Salto Osório e Tucuruí (Lactec, 2008), conforme mapa mostrado na Figura 12.

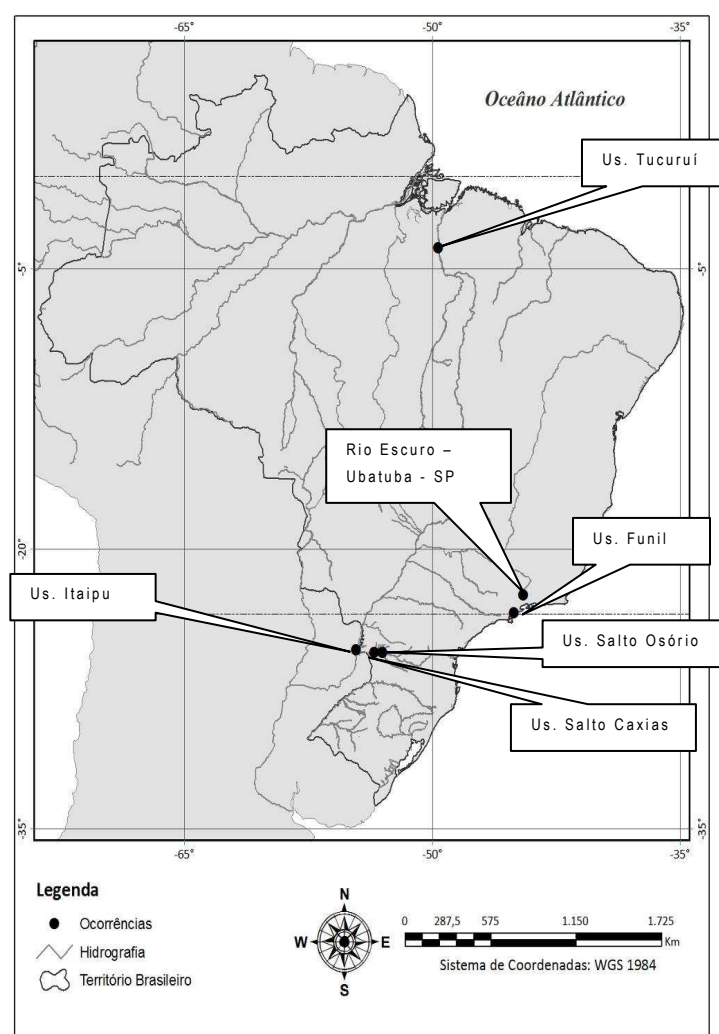


Figura 12 - Dispersão de *C. caspia* na América do Sul.

2.1.3 Molusco invasor *Limnoperna fortunei*

O *L. fortunei*, classificado na Tabela 5 e mostrado na Figura 13 foi, desde sua introdução, considerada uma espécie de grande potencial invasor devido às suas características biológicas. Segundo Darrigran (2002), os impactos ecológicos causados por esta espécie na América do Sul são similares àqueles causados por *Dreissena polymorpha* (Pallas), (mexilhão zebra) na América do Norte. Esses impactos vão desde a variação na composição da comunidade bêntica, com a remoção de moluscos nativos e aumento na abundância e distribuição de outros grupos, até nas modificações da cadeia trófica (Pestana, 2006). Além disso, como foi observado para o mexilhão zebra na América do Norte, *L. fortunei* é encontrado fixado sobre substratos vivos, representados por espécies nativas de bivalves e crustáceos. O mexilhão dourado vem utilizando o hidrozoário *C. caspia* para se fixar (Figura 14), no reservatório de Salto Caxias, desta forma este organismo vem conseguindo aumentar a área superficial para fixação de suas colônias.

Tabela 5 - Classificação da espécie *Limnoperna fortunei*.

	Classificação
FILO	Mollusca
CLASSE	Bivalvia
SUBCLASSE	Pteriomorpha
ORDEM	Mytiloida
SUPERFAMÍLIA	Mytiloidea
FAMÍLIA	Mytilidae
GÊNERO	Limnoperna
ESPÉCIE	<i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1856)

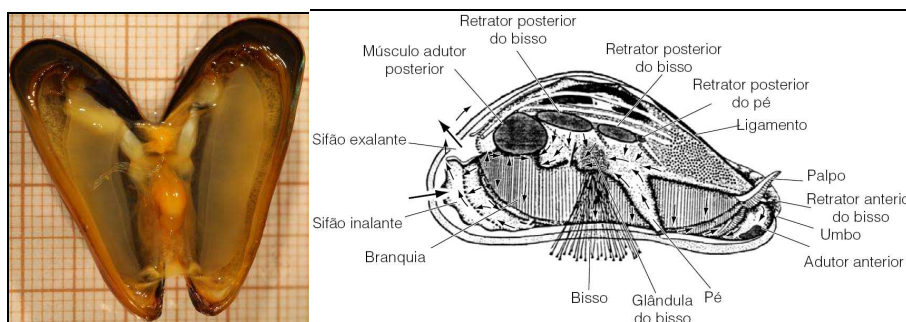


Figura 13 - Foto ilustrativa e anatomia do *Limnoperna fortunei* (modificado de Morton, 1973).



Figura 14 - Detalhe de colônia de *L. fortunei* aderida em hidrozoários *Cordylophora caspia*.

Dentre as características que torna esta espécie de grande potencial invasor está a sua grande resistência a condições ambientais (Tabela 6) e sua alta fecundidade (Darrigram *et al.*, 2000). O mexilhão é capaz de colonizar uma grande variedade de habitats. Suas colônias atingem densidades de mais de 100.000 organismos/m² (Cataldo *et al.*, 2002).

Tabela 6 - Limites ambientais de *L. fortunei* (segundo Darrigran, 2002)

Parâmetro	Limites
Salinidade	0-12%
Cálcio	3,96 mg/L
pH	6,2-7,4
<i>Temperatura</i>	
Desenvolvimento larval	16 -28 °C
Sobrevivência do adulto	8 -35 °C
Oxigênio	> 1,0 mg/L
Exposição ao ar	Até 7 dias

2.1.4 Atualização da dispersão do *L. fortunei* na América do sul

O *L. fortunei* é nativo de rios e córregos chineses e do sudeste asiático (MORTON, 1973) e, apenas recentemente, como consequência do aumento do comércio internacional e do grande fluxo de embarcações, vem expandindo sua distribuição para diversas partes do mundo. Em 1965, invadiu as águas de Hong Kong (MORTON, 1975). Expansões subseqüentes foram reportadas muitos anos

depois, em 1991 no estuário do Rio da Prata (PASTORINO *et al.*, 1993) e em 1992 no Japão (Magara *et al.*, 2001).

Logo em seguida, SCARABINO & VERDE (1994) descreveram a espécie para a costa Uruguaia do rio da Prata. DARRIGRAN & PASTORINO (1995) sugeriram que a introdução da espécie deu-se na água de lastro de navios provenientes de Hong Kong ou da Coreia, nos portos do estuário do Rio da Prata. A partir daí, segundo Darrigran & Ezcurra de Drago (2000), esta espécie avançou com velocidade próxima de 240 km/ano, expandindo rapidamente sua distribuição para boa parte da América do Sul, conforme detalhado na Figura 15 e tabela do apêndice A.

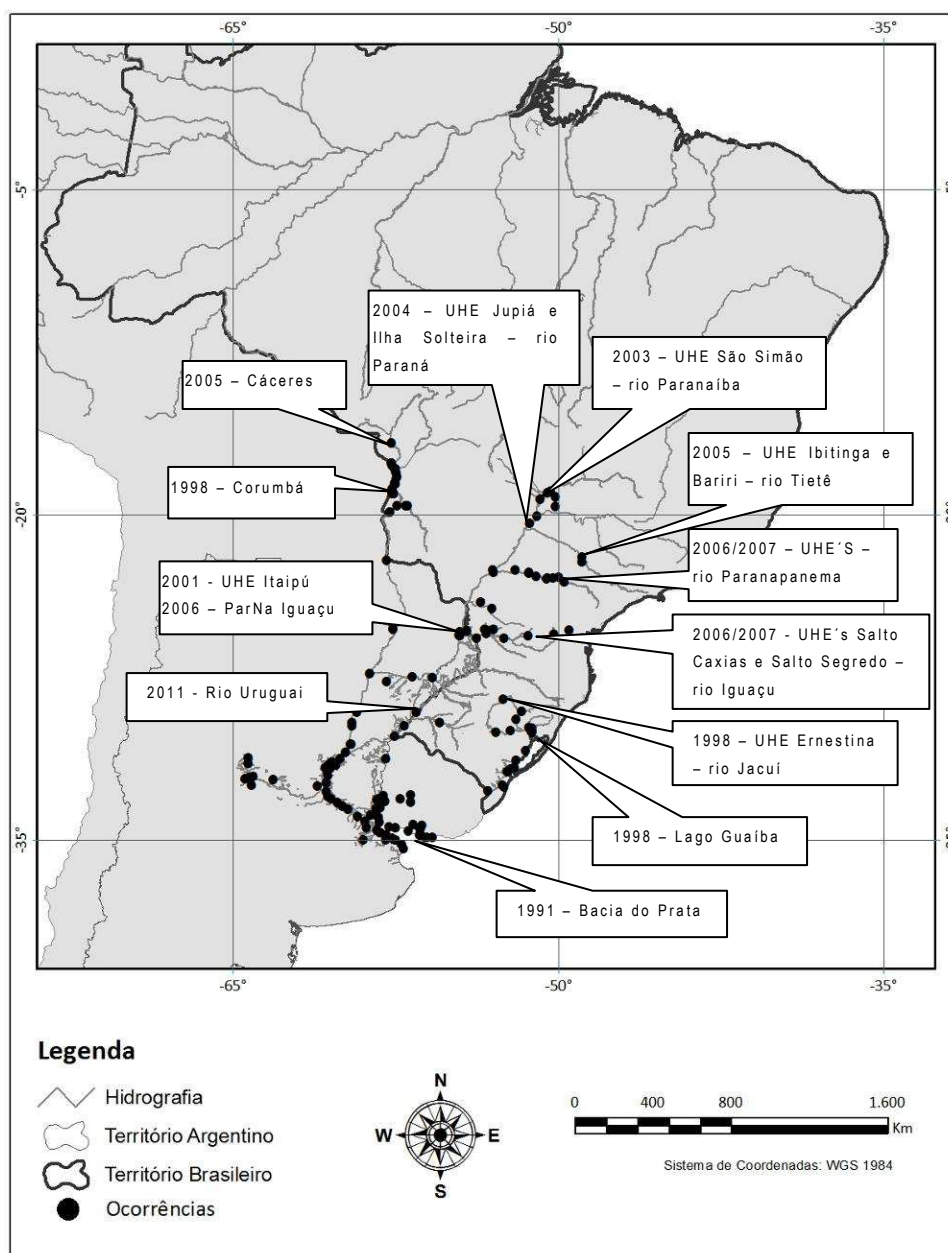


Figura 15 – Dispersão de *Limnoperla fortunei* na América do Sul.

Além destes locais, não existem registros de *L. fortunei* em nenhuma outra bacia da América do Sul. Segundo Belz (2006), os primeiros registros do mexilhão dourado em novas localidades não refletem a data efetiva de invasão, pois já apresentam comprimento total compatível com mexilhões adultos. A probabilidade de detecção da presença do mexilhão dourado é diretamente proporcional ao tamanho da população local. Uma população pequena será de difícil detecção.

O registro e reconstrução histórica dos eventos de invasão sugerem que *L. fortunei* é introduzido em portos cuja salinidade local seja baixa, como é o caso dos portos do estuário do Rio da Prata e de Porto Alegre. Portanto, alguns portos brasileiros, especialmente aqueles localizados em águas de baixa salinidade, como os portos de Belém e Manaus, deveriam ser colocados em estado de alerta para barcos oriundos de regiões infestadas, definindo medidas legais para o tratamento da água de lastro (Belz, 2006). A Autoridade Marítima (AM) vem trabalhando para estabelecer requisitos para o gerenciamento da água de lastro em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB). Em outubro de 2005 foi editada a NORMAM 20 (Norma da Autoridade Marítima) para fazer com que todos os navios com acesso aos portos e terminais nacionais operem nos termos estabelecidos pela Convenção da IMO (Organização Marítima Internacional) sobre o assunto.

2.1.5 Impactos ambientais causados pelas espécies

Há um conjunto de fatores ecológicos que podem tornar as espécies exóticas invasoras abundantes e persistentes. Estes fatores incluem a falta de controle de inimigos naturais, o desenvolvimento de novas associações entre invasores e as espécies nativas, a ausência de predadores eficazes no novo ecossistema, além de habitats já perturbados que se tornam ecossistemas favoráveis a invasão (Pimentel, 2005). O efeito da introdução de espécies invasoras no meio ambiente, de forma intencional ou acidental, é reconhecido como a segunda maior causa de declínio da biodiversidade, ficando atrás, apenas, da destruição de habitats naturais (Baskin, 2002; Vitousek *et al*, 1997). É possível observar alterações drásticas em

ecossistemas após estas introduções, como as apresentadas pelo *L. fortunei*, na Tabela 7.

Segundo Darrigran e Damborenea (2009), os impactos gerados por bioinvasões podem ser comparados aos causados por tormentas (e outros distúrbios naturais), contaminações e pelo extrativismo de recursos naturais.

Tabela 7 - Alterações no ecossistema associado à introdução de *Limnoperna fortunei*. Modificado de Belz (2006).

Parâmetros	Mudanças esperadas
Transparência da água	Aumenta
Matéria orgânica	Diminui
Mineralização da matéria orgânica	Aumenta
Fitoplâncton	Diminui em quantidade e em clorofila
Produtividade primária pelo fitoplâncton	Diminui
Bacterioplâncton	Aumenta levemente em número
Macrófitas	Aumenta
Fitoperifito e fitobentos	Aumentam em quantidade, clorofila e produtividade primária.
Zooplâncton	Diminui em quantidade (mudanças estruturais na comunidade)
Zoobentos	Aumenta em quantidade (mudanças na estrutura taxonômica e trófica)
Peixes	Aumento na quantidade de indivíduos de espécies bentófagas

2.1.6 IMPACTOS ECONÔMICOS

Os organismos aquáticos invasores são problemáticos não somente para os ecossistemas, mas também para as atividades humanas, em sistemas industriais e produtivos. Observa-se a existência de extensa bibliografia a respeito da infestação ocorrida na América do Norte pelas espécies *Dreissena polymorpha* (mexilhão zebra) e *Dreissena bugensis* (mexilhão quagga), citando conseqüências e prejuízos causados por esses moluscos (Claudi, 1995; Kerley *et al.*, 2000; Drake & Bossenbroek, 2004, O'Neill, 1997, Phillips *et al.*, 2005, Pimentel *et al.*, 2005). Os danos econômicos associados com espécies exóticas invasoras nos Estados Unidos são de, aproximadamente, US\$ 120 bilhões/ano, sendo cerca de US\$ 1 bilhão/ano, apenas para monitorar e controlar o mexilhão zebra (Pimentel *et al.*, 2005).

Apesar dos gastos com espécies invasoras serem elevados, não é possível incluir nestes números a extinção de espécies e perda da biodiversidade, pois os mesmos não podem ser contabilizados. Apesar de determinadas culturas exóticas serem importantes para a agricultura e para o sistema alimentar, isso não diminui o enorme impacto negativo causado por outras espécies não nativas.

No setor elétrico, os gastos vêm crescendo com controle nas usinas já afetadas e com prevenção nas que ainda não possuem organismos invasores (Belz, 2006) (Figura 16).

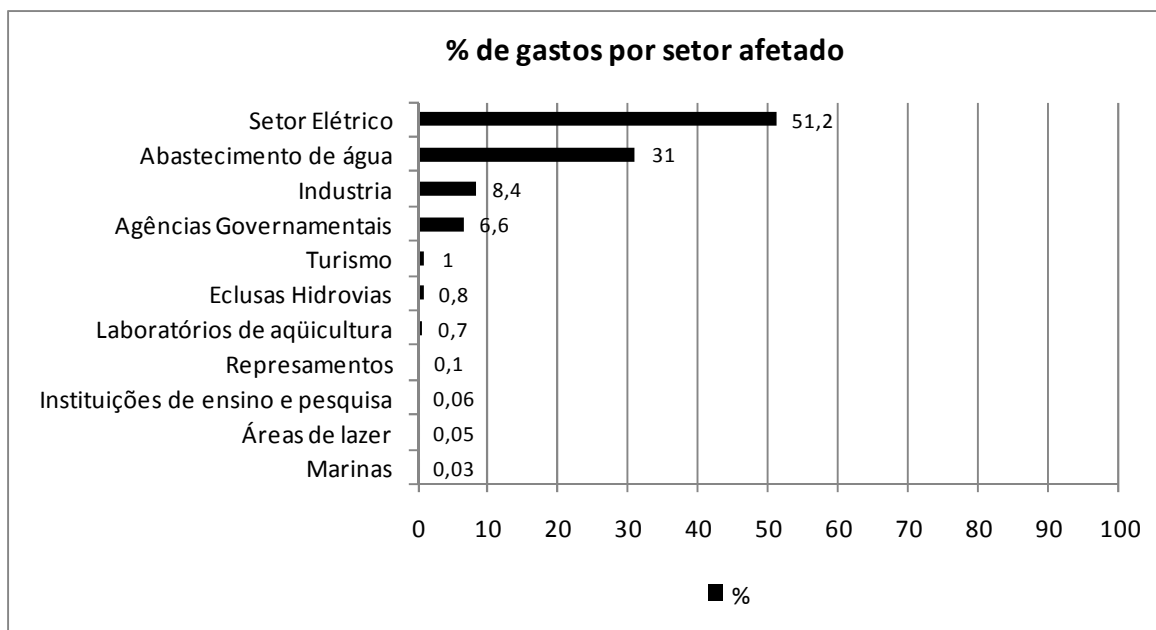


Figura 16 - Porcentagem de gastos com o mexilhão zebra nos EUA por setor afetado. Modificado de O' Neill (1997).

No Brasil, como no resto do mundo, o maior impacto econômico destas espécies invasoras ocorre no setor elétrico (O'NEILL, 1997). Todavia, ao contrário do que ocorre na maioria dos países, a quantificação dos gastos com este impacto não é divulgada pelas concessionárias.

Uma usina hidrelétrica de 120 MW, com 3 unidades geradoras e com problema de incrustação na parte crítica de seu sistema de resfriamento, pode ter o prejuízo de até R\$ 40.000,00 por dia de máquina parada, sem considerar neste valor a mão de obra e os materiais necessários para desobstruir o sistema.

Embora o setor elétrico seja o maior impactado com o problema, ele não é o único. Qualquer instalação que, de forma direta ou indireta, capte água de bacias

contaminadas por estes organismos, vai apresentar problemas com bioincrustações causadas por estas espécies.

2.2 LAMA FERRUGINOSA OU “*FOULING*”

Os sistemas de resfriamento de unidades geradoras de usinas hidrelétricas são, em geral, abertos, aproveitando a água do reservatório. Esta água coletada é simplesmente filtrada em equipamento autolimpante e utilizada em radiadores e trocadores de calor de placas ou tubulares para o resfriamento do ar ou do óleo lubrificante, dependendo dos sistemas dos equipamentos a serem resfriados. Como utilizam água bruta, sem tratamento químico, a eficiência destes sistemas poderá ser comprometida em função da qualidade da água, principalmente com relação à presença de compostos químicos, de microrganismos (chamando especial atenção às bactérias oxidantes do ferro, oxidantes do enxofre, redutoras do sulfato e pseudomonas) e pela influência do meio ambiente no reservatório (Lima, 2008), através de chuvas ventos e erosões que podem aumentar a turbidez da água e até mesmo alterar o pH. Muitas são as alterações suscetíveis de ocorrer na água presente em grandes reservatórios, produzindo entre outros processos a eutrofização a estratificação térmica e a estratificação química (Segundo, 1993), estes processos podem acarretar em aumento da matéria orgânica disponível na água para incrustar em materiais e equipamentos das usinas.

Em sistemas de resfriamento abertos os principais problemas de depósitos são causados por sólidos suspensos, sais dissolvidos, gases dissolvidos e desenvolvimento microbiológico (Segundo, 1993). Problemas de entupimentos e perdas na capacidade térmica dos sistemas de resfriamento são principalmente ocasionados pela formação excessiva de biofilme, lama ferruginosa ou “fouling” (Lima, 2008).

2.3 SISTEMA DE RESFRIAMENTO

Os sistemas de resfriamento são de fundamental importância para o funcionamento das usinas hidrelétricas, pois os equipamentos eletromecânicos têm limitações operacionais de temperatura (Chiesa, 2002). Por meio destes sistemas é

possível remover o calor gerado em máquinas rotativas, sistemas elétricos e hidráulicos, sendo os mais importantes, os geradores elétricos, óleos dos mancais e de acionamentos, compressores de ar e transformadores elétricos.

O aumento de temperatura dos sistemas pode ocasionar:

- desligamento automático da unidade;
- redução da geração para controle da temperatura abaixo do valor recomendado;
- desgaste prematuro dos equipamentos; e
- redução dos intervalos de manutenção.

No Brasil, praticamente todas as usinas hidrelétricas utilizam sistemas de resfriamento aberto, ou seja, a água é captada diretamente do reservatório à montante, de forma bruta, sem nenhum tratamento químico e é devolvida ao rio à jusante da usina. Isto se justifica devido ao volume diário utilizado, que torna oneroso e difícil o tratamento da água utilizada neste processo. Na impossibilidade de se realizar este tratamento e devido às características da água, podem ocorrer os fenômenos de corrosão e/ou incrustação, a corrosão é um problema muito grave, pois pode comprometer os materiais presentes nos equipamentos, por outro lado a incrustação reduz a eficiência de troca térmica nos equipamentos, pois os depósitos que se acumulam na superfície interna dos tubos ou placas dos trocadores (Lopes *et al.*, 2010).

O tamanho do sistema de resfriamento é diretamente proporcional ao porte da usina. Desta forma, grandes usinas necessitam de sistemas de resfriamento de grande porte e com maior eficiência. Estes sistemas possuem em um dos lados óleo ou ar, em circuito fechado, que realiza a troca térmica com a água em sistema aberto. O calor gerado nestes processos é resultante das perdas dos processos de transformação. Os trocadores de calor de fluidos podem ser de tubos ou placas, onde, o fluido a ser refrigerado circula ao redor da área do tubo ou por um lado da placa.

Um sistema de resfriamento de uma usina hidrelétrica normalmente possui os seguintes trocadores de calor: de óleo dos mancais da turbina e do gerador, de ar da câmara do gerador e de óleo do regulador e dos compressores de ar.

2.4 MÉTODOS DE CONTROLE

A maioria dos métodos de controle utilizados atualmente é baseada em estudos realizados para o mexilhão zebra, principalmente nos Estados Unidos, Europa e no Canadá. Estes métodos de controle podem ser divididos em métodos físicos, químicos e biológicos (Cataldo *et al.*, 2002).

Os trabalhos publicados dividem os métodos de controle da espécie invasora em dois grupos:

- métodos reativos e
- métodos proativos.

Os chamados métodos reativos são aqueles utilizados quando já há a infestação e quando há possibilidade de convívio com a espécie invasora ou são possíveis paradas para manutenção dos equipamentos e dos sistemas infectados. Os métodos reativos usados com sucesso no tratamento do “Zebra Mussel” (*Dreissena polymorpha*), até o momento, são:

- choque térmico,
- limpeza mecânica,
- retirada da água e limpeza das regiões infestadas e
- retirada da água e congelamento.

Os métodos proativos são utilizados quando o assentamento da espécie invasora não pode ser tolerado, pois não são possíveis paradas longas dos equipamentos para os processos de limpeza, ou os sistemas não permitem que a limpeza seja realizada. Nesses casos, deve-se tratar o molusco em sua fase velígera, e o tratamento deverá prevenir também o assentamento dos mexilhões adultos que se movimentam. Os métodos proativos utilizados com sucesso são:

- proteção eletrolítica,
- métodos acústicos,
- métodos de tratamento com UV,
- utilização de filtros,
- utilização de produtos químicos não oxidantes e
- utilização de produtos químicos oxidantes.

Os métodos químicos são os mais utilizados por apresentarem os melhores resultados e o melhor custo benefício, até o momento. Mas a utilização destes

métodos deve levar em conta a compatibilidade com os materiais presentes no sistema de resfriamento e o possível impacto ambiental a jusante da usina, uma vez que a maioria dos produtos utilizados pode ser letal tanto para as espécies invasoras como para as nativas (Filippo 2003). Uma vantagem oferecida pela maioria dos produtos químicos é o sistema de injeção poder ser projetado para proteger grande parte do sistema (Claudi & Mackie, 1994). Os métodos químicos mais utilizados são: cloro gasoso, dióxido de cloro, dicloroisocianurato de sódio, hidróxido de sódio, ozônio, MXD 100, sulfato de cobre e pinturas anti-incrustantes (Giordani *et al.*, 2005).

Até o momento, nenhum método físico conseguiu substituir a injeção de produtos químicos para combater a bioincrustação, estas metodologias tem sido utilizada no máximo para auxiliar os métodos químicos, como é o caso da utilização de filtros. Os métodos físicos dificilmente conseguem atingir o mesmo resultado dos experimentos em laboratórios quando aplicados em sistemas industriais, além de em alguns casos serem inviáveis devido ao alto custo. Os métodos físicos mais estudados são: elétrico, magnético, acústico, ultravioleta, anoxia, hipoxia e o choque térmico (Kowalski, 2008).

A opção do controle biológico deve ser muito bem pesquisada antes de sua implantação, pois na maioria dos casos, leva o meio ambiente a ter que suportar novas espécies não naturais do habitat (Kowalski, 2008). O método biológico mais utilizado é a predação por peixes (Giordani *et al.*, 2005).

A utilização destas metodologias deve ser estudada caso a caso, devido a cada usina ter particularidades em seus sistemas de resfriamento e na qualidade da água de seus reservatórios. A eficiência destes métodos pode variar bastante de usina para usina.

2.4.1 Dicloro isocianurato de sódio

Humfrey Davy descobriu o elemento cloro em 1808, mas apenas em 1881 suas propriedades bactericidas foram comprovadas pelo bacteriologista Koch. A partir do início do século XIX, algumas regiões dos Estados Unidos já utilizavam este agente químico no processo de desinfecção de águas para abastecimento público (Chambers, 1956). O uso contínuo do cloro só ocorreu a partir de 1902, na Bélgica, após o refinamento da cloração, isto é, determinação das formas de cloro

combinado e livre e a cloração baseada em controles bacteriológicos (Meyer, 1994).

O uso de derivados clorados de origem inorgânica, como gás cloro, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e dos derivados clorados de origem orgânica, cujo principal representante é o dicloroisocianurato de sódio, tem contribuído para o controle das doenças de origem hídrica e alimentar, do processo de desinfecção de pisos, equipamentos e utensílios em áreas de industriais e de residências (Odlaug & Pflug, 1976).

No tratamento de água o cloro se combina com várias substâncias remanescentes, como a amônia, nitratos e que podem reagir com o cloro livre levando à formação de diversos subprodutos, entre eles os trihalometanos (Ribeiro, 2001). Os trihalometanos aparecem como produtos resultantes da reação entre substâncias químicas que se utilizam no tratamento oxidativo (cloro livre) e matérias orgânicas (ácidos húmicos e fúlvicos) naturalmente presentes na água. Sua formação está, portanto, relacionada ao uso do cloro (Tominaga & Mídio, 1999).

Estudos epidemiológicos têm relacionado os trihalometanos com o aumento dos riscos de diversos tipos de câncer, além de também poder resultar em problemas no sistema reprodutivo e até abortos espontâneos. Segundo Macedo (2004), a formação de trihalometanos pelos derivados clorados orgânicos é bem inferior a dos inorgânicos. Todavia, até o momento não existem estudos que comprovem o real efeito para a saúde humana causado por esses compostos presentes em baixas concentrações (ppb e ppt). O processo de cloração não é seletivo e dependendo da concentração, pode ser altamente tóxico para peixes e invertebrados não alvos. Segundo Claudi e Mackie (1994), os peixes são mais afetados do que os outros organismos aquáticos, embora populações de fitoplâncton possam diminuir drasticamente com a presença deste produto químico. Além de matar organismos não alvos o cloro também pode afetar o comportamento, reprodução, crescimento e mutagênese de organismos expostos.

Além de impactos ambientais, o cloro, por ser um oxidante forte, pode ocasionar corrosão nos materiais presentes no sistema de resfriamento, dependendo da dosagem e do tempo de injeção. Desta forma, antes de injetar o cloro em sistemas de resfriamento industriais, o mesmo deve ser analisado para verificar a compatibilidade dos materiais a este tratamento.

Desde a introdução do mexilhão zebra em 1980, o método mais utilizado para controle de espécies invasoras em sistema industriais é a cloração (Cherry *et al.*, 1986, Doherty *et al.*, 1986, Ramsey *et al.*, 1988, Claudi & Mackie, 1994, Rajagopal *et al.*, 1995, Boelman *et al.*, 1997 e Rajagopal *et al.*, 1997). No Brasil, diversas usinas utilizam ou já testaram cloro em seus sistemas, para controle de organismos invasores ou lama ferruginosa: Porto Primavera da CESP (Figura 17) - dicloroisocianurato de sódio, Bariri e Ibitinga da AES Tietê - cloro gás, Rosana, Taquaruçu, Canoas I e Canoas II da Duke Energy - cloro gás, Itaipu utiliza cloro gás e hipoclorito de sódio, Tucuruí da Eletronorte – cloro granulado. Apesar desta metodologia ser a mais aplicada até o momento, poucos estudos foram realizados com relação ao impacto do cloro nos materiais presentes nos sistemas de resfriamento, após longos períodos de injeção.



Figura 17 - Sistema de injeção de dicloro da usina de Porto Primavera – CESP. 1 -Estrutura utilizada para diluição do dicloro. 2 – ponto de injeção do produto no sistema de resfriamento. 3 – Sistema de controle com sensor e controlador para injetar o produto automaticamente de acordo com a leitura do cloro residual. 4 – Bomba de injeção.

Diversos fatores podem afetar a efetividade do controle da bioincrustação com cloro, a concentração de compostos orgânicos e inorgânicos, a temperatura e o pH da água do reservatório das hidrelétricas. O grau de incrustação do sistema

também pode interferir na eficiência do tratamento, na Tabela 8 está mostrado o efeito da dosagem de alguns produtos a base de cloro no mexilhão zebra.

Tabela 8 - Efeitos da cloração no mexilhão zebra.

Tratamento	Aplicação	Efeito
Cloração (adultos)	0,5 ppm por 7 dias	75% de mortalidade
	0,3 ppm de 14 a 21 dias	Maior que 95% de mortalidade
Cloração (adultos)	2 ppm em fluxo contínuo	90% de mortalidade
Dióxido de cloro (larvas)	0,5 ppm por 24h	100% de mortalidade
Cloramina (larvas)	1,2 ppm por 24h	100% de mortalidade

As águas ricas em matéria orgânica e inorgânica, caso de grande parte dos reservatórios brasileiros, têm alta demanda de cloro, pois consomem grandes quantidades de cloro residual por meio de reações de oxido-redução (Boelman *et al.*, 1997).

O pH da água influencia fortemente a dissociação do ácido hipocloroso, tendo o pH 5 como o mais eficaz na ação anti-bactericida. O pH ácido também resulta maior formação de dicloraminas as quais tem maior potencial de desinfecção do que as monoclорaminas formado em maiores concentrações em pHs básicos (Claudi & Mackie, 1994).

2.4.2 MXD 100

O MXD – 100 é um produto comercial da empresa Maxclean, vendido em estado líquido, a base de extratos de taninos e com propriedades anti-incrustantes. Os taninos são compostos fenólicos caracterizados por sua capacidade de combinar-se com as proteínas e outros polímeros como os polissacarídeos. Seu papel é essencialmente proteger plantas contra o ataque de insetos, fungos ou de bactérias.

Testes com circulação de MXD 100 em circuito fechado, realizados em trocadores de calor da UHE Nova Ponte - CEMIG apresentaram bons resultados na prevenção da incrustação de lama ferruginosa nas placas do trocador de calor (Mata, 2008).

Para larvas de *L. fortunei*, Mata *et al.* (2007), obtiveram resultados de 100% de letalidade nas concentrações acima de 0,5 mg/l de MXD 100, após 24 h de exposição. Segundo Fernandes & Coutinho (2008), a exposição de mexilhões adultos ao produto mostrou que, em concentrações de 0,051 ppm por mais de 24 h, foram letais aos mexilhões sem causar toxicidade sobre os microcrustáceos *Daphnia similis*.

Segundo Bonafé (2010), testes realizados nos sistemas de resfriamento das UHEs Eng. Sérgio Motta (Porto Primavera) e Ilha Solteira da CESP, com duração de dois anos, concluíram que o MXD 100 apresentou bom desempenho no controle à fixação do mexilhão dourado. Demonstrando que além da eficiência, o produto pode ser utilizado sem riscos de danos aos equipamentos, a saúde dos funcionários e com baixo risco ambiental.

Testes realizados em laboratórios demonstraram que o MXD 100 é biodegradável (Ecolyzer, 2007), não corrosivo a metais (CEFET/MG, 2006), de baixa toxicidade a seres humanos (Ecolyzer, 2007) e a biota aquática (CETEC/MG, 2007).

Usinas como Nova Ponte, Irapé e Queimados da CEMIG, Porto Primavera e Ilha Solteira da CESP, Ibitinga da AES Tietê, Governador José Richa da COPEL (Figura 18), Manso de FURNAS e Itaipu, utilizam ou já testaram o MXD 100 em seus sistemas, para controle de organismos invasores ou lama ferruginosa. Apesar desta metodologia já ser aplicada em escala industrial, nenhum estudo de avaliação da sua eficiência e de comparação com outras metodologias foi realizado.

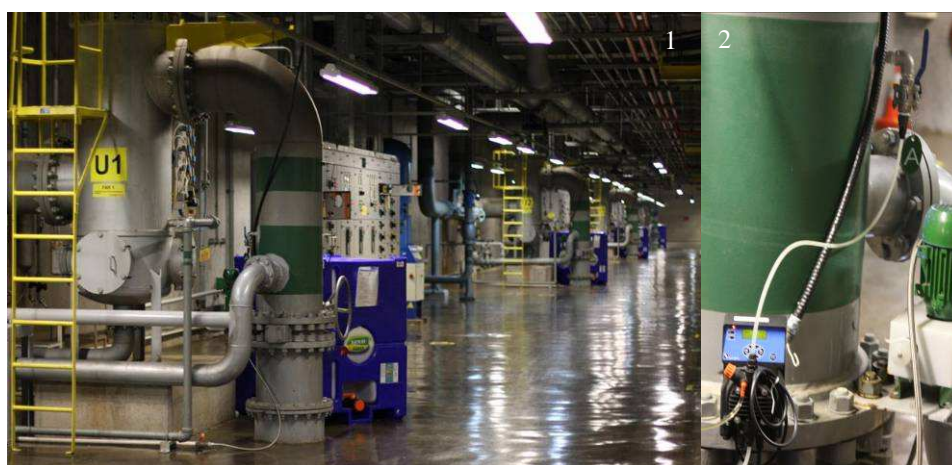


Figura 18 - Sistema de injeção de MXD 100 na UHEGJR – COPEL. 1 – Tanques de MXD 100 ao lado do filtro *conoflow*, nas 4 unidades. 2 – Detalhe da bomba de injeção.

2.4.3 Hidróxido de sódio

O hidróxido de sódio, também conhecido como soda cáustica é uma base de Lewis, de fórmula química NaOH. Reage de forma exotérmica com a água e é produzido por eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de sódio (salmoura), sendo produzido juntamente com o cloro.

A utilização do hidróxido de sódio é muito ampla, com grande variedade de usos na indústria e em residências. Os principais exemplos são: na perfuração de petróleo, o hidróxido de sódio é usado como um aditivo para o fluido de perfuração, não só para aumentar a viscosidade, mas também para neutralizar todos os bolsões de gás ácido encontrados durante o processo de perfuração. Na fabricação da pasta de papel, é usado como solução para separar as fibras da celulose da lignina. Na produção de biodiesel, que é produzido pela transesterificação de metanol e de triglicerídeos, é usado como um catalisador para que essa reação ocorra; em processos de limpeza industrial, pois dissolve facilmente óleo, graxa, gordura ou materiais à base de proteínas; na indústria alimentar, não só para a preparação do produto, mas também para cozinhar, frutas e vegetais podem ser descascado.

Em sistemas de resfriamento, o aumento do pH causado pela injeção controlada de NaOH ajuda a prevenir a deposição de lama ferruginosa, pois muitas substâncias orgânicas assumem características negativas em meios alcalinos, por neutralizar a ação coagulante/floculante destes compostos (LACTEC, 2004). Além disso, a alcalinização reduz o índice de corrosividade da água, evitando a corrosão em materiais e equipamentos presentes no sistema de resfriamento (Segundo *et al.*, 1993).

A injeção de NaOH, mantendo o sistema de resfriamento com pH na faixa de 8 a 8,5 faz com que os grupos carboxílicos dos ácidos húmicos sejam ionizados, evitando assim a complexação do ferro e, conseqüentemente, minimizando a deposição de lama ferruginosa (“*fouling*”) em sistemas de resfriamento (Segundo *et al.*, 1993).

Para o mexilhão zebra, o limite inferior de pH é de 7,4 e o superior de 9,4 para o desenvolvimento do véliger com sucesso (Sprung, 1987). Campos e Mata (2004) registraram faixas de tolerância de adultos à variação do pH entre 9,20 até

2,60, indicando a sobrevivência em pH de 7,30 até 5,5, com atividade biológica normal dos indivíduos adultos. Para o hidrozóário *C. caspia*, segundo Lactec (2008), as colônias se adaptam bem em pH 7.5 a 8.5, e a partir disso os pólipos começaram a se retrair.

Usinas como Governador Parigot de Souza (GPS) e Governador José Richa da COPEL (Figura 19), Nova Ponte e Emborcação da CEMIG, utilizam ou já testaram o NaOH em seus sistemas, para controle de organismos invasores ou lama ferruginosa. Todas as instalações com NaOH citadas, foram realizadas pelo Lactec. Apesar de terem sido realizadas diversas análises comprovando a eficiência destes sistemas, nunca foram realizados testes comparativos, que pudessem compará-la sob as mesmas condições com as demais metodologias.



Figura 19 - Sistema de injeção de NaOH da usina Governador José Richa. 1 – Tanques de armazenamento de NaOH. 2 – Sensores de pH. 3 – Bomba de injeção. 4 – Controlador do sistema de injeção automática.

2.5 CORROSÃO EM MATERIAIS METÁLICOS

Materiais metálicos são, normalmente, combinações de elementos metálicos, e possuem grande número de elétrons não localizados, isto é, estes elétrons não estão amarrados a um único átomo. Muitas das propriedades dos metais são diretamente atribuíveis a estes elétrons. Metais são extremamente bons condutores de eletricidade e de calor e não são transparentes à luz visível: a superfície de um metal polido tem aparência lustrosa. Além disso, metais são materiais resistentes, mas deformáveis, o que responde pelo seu extensivo uso em aplicações

estruturais. Os metais podem apresentar efetiva perda de material por corrosão ou pela formação de um filme não metálico (oxidação) (Callister, 2007).

Corrosão é definida como um ataque destrutivo de um metal; ela é eletroquímica e sempre inicia na superfície. O problema de corrosão metálica tem proporções significativas; em termos econômicos, tem-se estimado que, aproximadamente, 5% da renda de nações industrializadas são gastos na prevenção da corrosão e na manutenção ou substituição dos produtos perdidos ou contaminados como um resultado de reações de corrosão (Callister, 2007). O processo de corrosão em grandes sistemas industriais, como sistemas de distribuição e geração de energia, podem gerar grandes prejuízos decorrentes de paradas de manutenção e reposição das peças (Rieder, 2009). Países como os Estados Unidos apresentam prejuízos na ordem de 300 bilhões de dólares por ano (Brusamarello *et al.*, 2002). Para o Brasil, a estimativa de prejuízos decorrentes da corrosão ultrapasse 30 bilhões de dólares anuais (Rieder, 2009).

Segundo Callister 2007, os processos de corrosão metálica podem ser classificados em oito diferentes formas: uniforme, galvânica, em fenda, localizada ("pitting"), intergranular, lixiviação seletiva, erosão-corrosão e corrosão sob tensão. O ataque uniforme é uma forma de corrosão eletroquímica que ocorre com intensidade equivalente ao longo de toda superfície exposta e às vezes deixa para trás uma carepa ou um depósito. Corrosão galvânica ocorre quando 2 metais ou ligas com diferentes composições são eletricamente emparelhados enquanto expostos a um eletrólito. Corrosão em fendas ocorre sob depósitos de poeira ou dos produtos de corrosão onde a solução se torna estagnante e há uma localizada escassez de oxigênio dissolvido. Corrosão localizada ("pitting") ocorre na forma de ataque localizado, no qual covas ou buracos se formam. Eles penetram do topo de uma superfície horizontal para baixo numa direção praticamente vertical. É um tipo de corrosão extremamente traiçoeira, muitas vezes acontecendo sem ser detectada e com muito pouca perda de material até que a falha ocorra. A corrosão intergranular ocorre preferencialmente ao longo dos contornos de grão para algumas ligas em ambientes específicos. O resultado é que uma amostra macroscópica se desintegra ao longo dos seus contornos de grão. Este tipo de corrosão é especialmente predominante em alguns aços inoxidáveis. Lixiviação seletiva é encontrada em ligas de solução sólida e ocorre quando um elemento ou constituinte é preferencialmente removido como uma consequência do processo de

corrosão. Erosão-corrosão surge da ação combinada de ataque químico e abrasão ou desgaste mecânico como uma consequência de movimento de fluido. Virtualmente todas as ligas metálicas, num grau ou em outro, são susceptíveis à erosão-corrosão. Corrosão sob tensão, às vezes denominado trincamento por corrosão sob tensão, resulta a partir da ação combinada de uma tensão de tração aplicada e de um ambiente corrosivo.

O produto corrosivo formado na superfície do aço carbono é constituído de uma mistura de óxidos e hidróxidos de ferro em estrutura espinel (Kajimoto, 1990). Utilizando a difração de raios-X e espectroscopia Raman, pode-se observar que as principais fases de óxidos são lepidocrocita (g-FeOOH), goetita (a-FeOOH) e magnetita (Fe₃O₄). A lepidocrocita é, normalmente, o produto de corrosão inicial e, conforme o tempo de exposição às intempéries é mais longo, ocorre sua transformação em goetita (Antunes, 2002). As peças de aço apresentam estruturas superficiais na forma de grumos, características de produtos de óxidos de ferro. O processo corrosivo do aço carbono, diferentemente de alguns outros materiais, ocorre sobre toda a extensão da superfície, desta forma, ocorrendo uma perda uniforme de espessura (Rieder, 2009).

O meio mais comum e mais fácil de prevenir corrosão é pela seleção criteriosa dos materiais uma vez que o ambiente de corrosão tenha sido caracterizado. Referências padrões de corrosão são úteis neste sentido (Callister, 2007).

CAPÍTULO – III

3. METODOLOGIA

3.1 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE ENSAIOS E METODOLOGIA DOS EXPERIMENTOS.

Para a realização do experimento foi construído um laboratório (Figura 20 e Figura 21) de avaliação dos métodos de controle de espécies invasoras, na UHEGJR. O sistema foi projetado de modo a simular a tubulação do sistema de resfriamento de usinas hidrelétricas, sendo a água retirada do seu próprio sistema de resfriamento. Para tanto, foi construída uma ramificação na unidade 1 (o sistema de resfriamento da usina de Caxias é dividido em 4 unidades que atendem 4 grupos geradores), antes do filtro *Conoflow*, de modo a se evitar a contaminação da água de amostragem por produtos injetados no sistema de resfriamento da usina. Uma ramificação auxiliar foi montada na unidade 2, com dimensões reduzidas, apenas para manter as amostras vivas quando de parada e esgotamento da unidade 1.

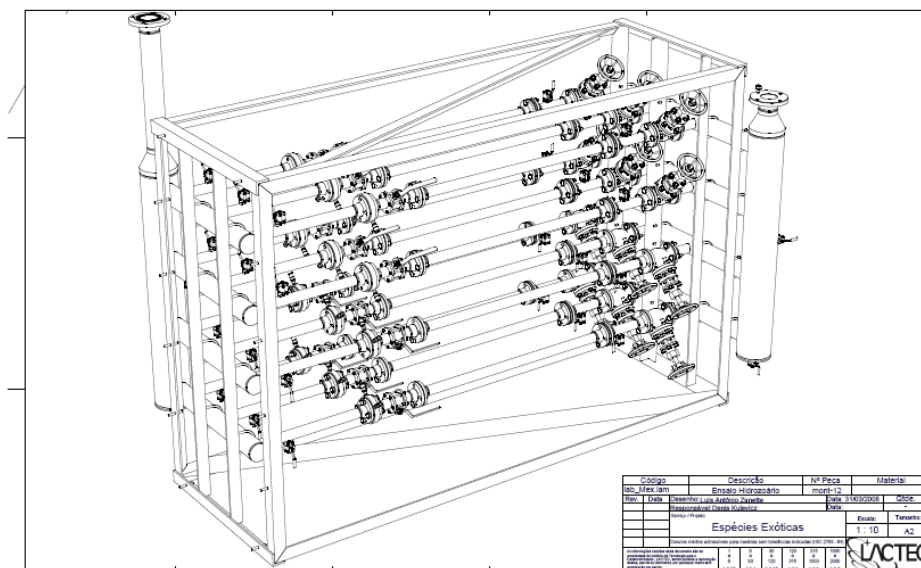


Figura 20– Projeto do sistema de ensaio de combate bioincrustação.



Figura 21 -Laboratório de pesquisas em espécies invasoras, LPEI, em operação na UHEGJR.

Houve a necessidade, ainda, da utilização de um sistema de filtragem da água de resfriamento a fim de se evitar a entrada de corpos de grandes dimensões, comumente encontradas no *Cunoflo* (filtro). Estes tipos de corpos encontrados na água bruta do reservatório (madeiras, vidros, lixo em geral) podem acarretar o entupimento ou danificação do laboratório e dos sistemas experimentais.

A saída da água do laboratório foi feita através da tubulação de drenagem da usina. Válvulas de bloqueio foram montadas na entrada e saída do laboratório, de modo que todo o sistema possa ser isolado do sistema de resfriamento.

O sistema experimental consistiu em um conjunto de 12 tubulações de duas polegadas, em aço carbono (material presente na maior parte do sistema de resfriamento) montadas paralelamente com regulagem de vazão individual para cada tubulação. A regulagem foi feita por intermédio de válvulas globo, montadas na entrada de cada tubulação, sendo a vazão verificada a partir de placas de orifício montadas na saída. Tais placas foram previamente dimensionadas para simular a velocidade da água na tubulação de 1 m/s, velocidade suficiente para permitir a instalação de mexilhões dourados nas amostras.

Cada conjunto de três tubos paralelos constituiu um conjunto de amostragem conforme ilustrado esquematicamente na Figura 22, recebendo os mesmos tipos de ação contra as espécies bioincrustantes, *fouling* e com as mesmas características de vazão, velocidade e pressão. Foram injetados dicloro, hidróxido de sódio, MXD

100. Um conjunto de amostragem foi mantido sem injeção de produtos químicos, de modo a constituir uma amostragem controle (testemunha).

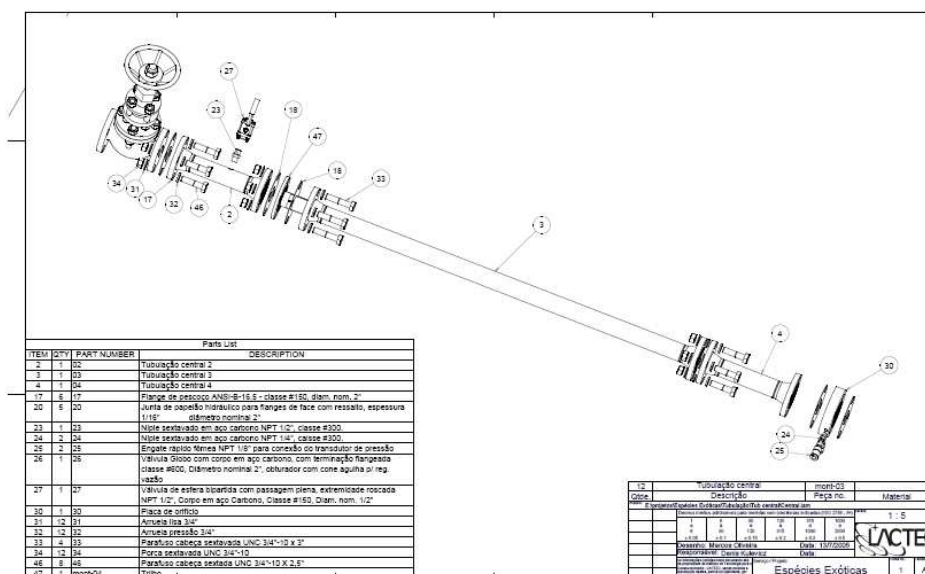


Figura 22- Detalhe das tubulações de amostras, válvula, flange, niple onde o trilho com os corpos de prova corre internamente.

A injeção de produtos no sistema de ensaio ocorreu pelo uso de orifícios na ramificação de cada conjunto de amostragem (Figura 23), tendo sido montado uma chicane para prover à mistura do produto com a água, desta forma, injetando exatamente a mesma quantidade de produto em cada tubulação. O dicloro foi injetado durante 8 h/dia, com uma média de injeção diária de 8,16 kg, com o auxílio de um temporizador, que ligava e desligava o sistema automaticamente mantendo o período e dosagem correta de injeção, com uma concentração dentro do sistema de 1 ppm. O hidróxido de sódio foi injetado mantendo o pH em 9 durante 24 h/dia, com uma média de injeção diária de 2,22 kg ao longo do experimento, com um sensor instalado em um orifício no meio dos tubos, que com o auxílio de um controlador e uma bomba dosadora (Figura 24) manteve a dosagem ideal do produto durante os doze meses de experimento. O MXD 100 foi injetado segundo orientações do fabricante (apêndice C) 200 ml, durante 15 minutos 3 vezes por dia, num total diário de 600 ml de produto, com o auxílio de um temporizador previamente programado para injetar a quantidade de produto correta.



Figura 23 - Pontos de injeção dos três produtos químicos e do controle, antes de passarem pela chicane e se dividirem nas tubulações com os corpos de prova.

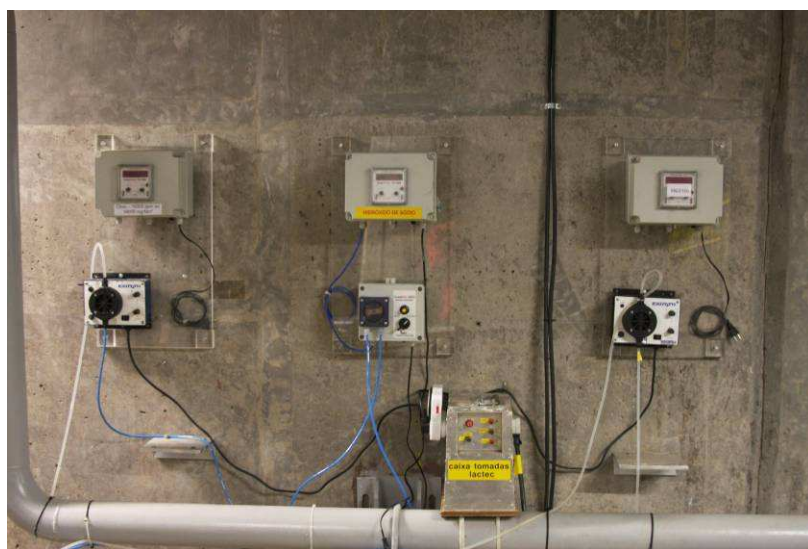


Figura 24 – Bombas de injeção e controladores utilizados na malha de controle do laboratório de ensaios.

Internamente a cada tubulação foram pesadas e montadas 12 placas metálicas (corpos de prova), aço carbono SAE 1010, em um trilho (Figura 25), constituindo as amostras retiradas para análises mensais, pelo período de um ano. A montagem das amostras e tubulações foi feita por intermédio de flanges parafusados.



Figura 26 – Placas de aço carbono coletadas no laboratório da UHEGJR.



Figura 27 – Análise das amostras em microscópio estereoscópio.

A lama e o hidrozoário incrustados em cada placa, lado superior e inferior, foram coletados em papel filtro. O papel filtro com a amostra passou por um processo de secagem em estufa por um período de 12 h, temperatura próxima a 120 °C, com o intuito de quantificar a incrustação de lama ou “fouling” mais hidrozoários. O peso médio das três amostras em papel filtro foi utilizado para quantificar a deposição sobre os corpos de prova.

Para comparação com os dados de incrustação durante os doze meses do experimento, foram realizadas coletas mensais de plâncton com rede de 64 µm,

filtrando 4 l de água na caixa espiral da unidade 1, na entrada e na saída do sistema de resfriamento da máquina 1. Além disso, também foram realizadas análises da temperatura da água na entrada do sistema de resfriamento da unidade 1, com as médias mensais de temperatura dos 12 meses de experimento, foram comparadas com a densidade de larvas no sistema servindo de suporte para a avaliação da sazonalidade do *L. fortunei*.

Para a análise da corrosão, as placas foram novamente pesadas, após limpeza química utilizando a solução de Clarke (1 L-HCl; 20 g -Sb₂O₃; 50 g-SnCl₂), conforme a norma ABNT NBR 6210 (Figura 29), para comparação com o peso original e quantificação da perda de massa, conforme mostrado na Figura 28. Além disso, com o auxílio de um paquímetro também foram coletadas medidas da espessura das quatro bordas, do centro da placa e análise da média de corrosão alveolar ou por placas nos CP's (Figura 30).

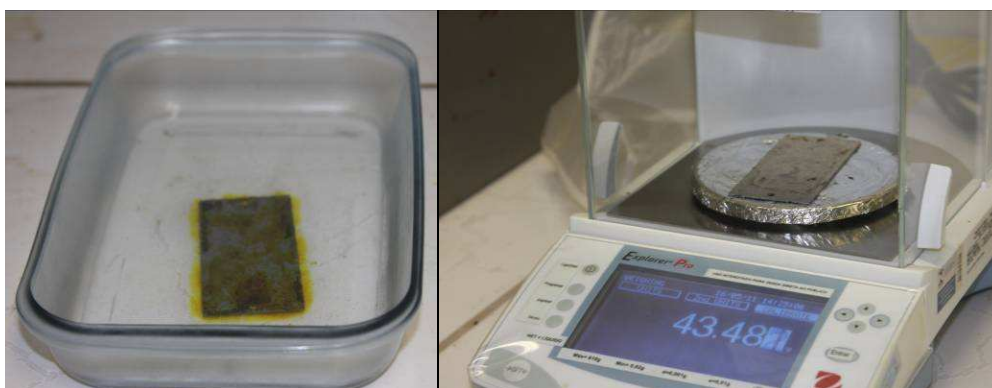


Figura 28 - Limpeza química e pesagem das placas.



Figura 29- Corpo de prova antes e após limpeza química com a solução de Clarke.

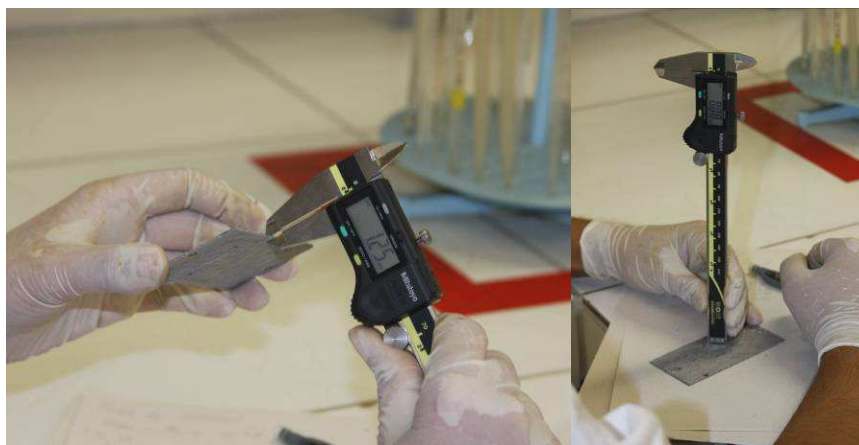


Figura 30 – Análise de corrosão nos CP's.

Para a análise da corrosão alveolar foi utilizado um Calibrador de Extensômetro para localizar as corrosões pontuais com maior profundidade (Figura 31), nos corpos de prova da 12^a coleta.

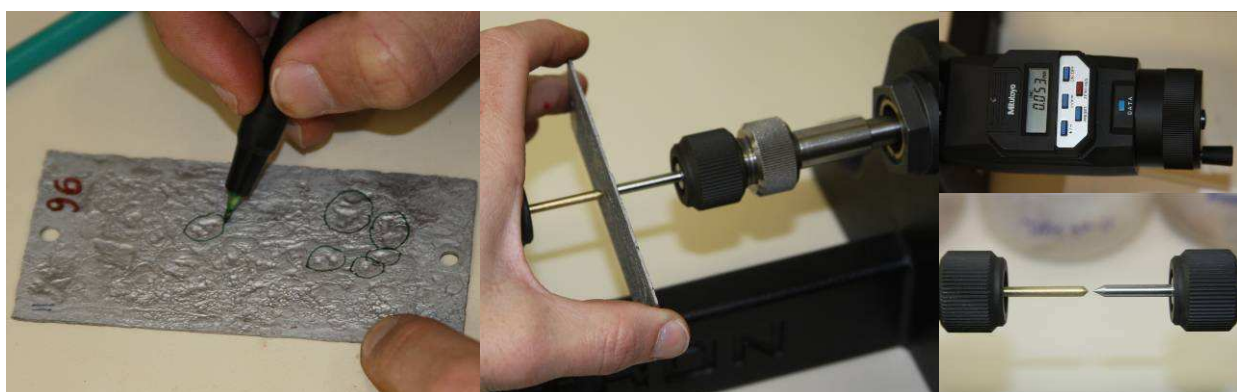


Figura 31 – Análise de corrosão alveolar nos CPs da 12^a coleta utilizando um Calibrador Extensômetro.

Após a análise, os pontos de corrosão alveolar mais profundos foram selecionados, os corpos de prova foram cortados e embutidos com auxílio do equipamento Pneumet I. Utilizando a Ecomet III (Figura 32), as amostras embutidas foram lixadas (200, 400, 600, 800, 1000 e 1200) e polidas (com pasta de diamante – 6 μm e com alumina 1 μm). As amostras preparadas dos três tratamentos e do controle tiveram suas medidas de extensão e profundidade da corrosão alveolar analisada em Banco Metalográfico MM6 (Figura 33).



Figura 32 – Equipamentos Pneumet I e Ecomet III, utilizados para embutir, lixar e polir as amostras.



Figura 33 – Análise das amostras no Banco Metalográfico MM6.

Para finalizar, todos os dados foram trabalhados em ambiente R para análise estatística (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011). As análises foram realizadas em duas etapas, a primeira apresentando análises exploratórias dos dados e a segunda a modelagem estatística. Na modelagem foram propostos, avaliados e comparados modelos para a análise do experimento: modelos lineares, lineares generalizados, inflacionados de zeros e aditivos generalizados. A seleção de modelos levou ao mais adequado para inferências formais sobre os efeitos dos tratamentos com testes para avaliar a significância estatística dos achados, descrições do comportamento dos mexilhões sob diferentes condições e comparações de interesse.

CAPÍTULO – IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os meses de junho de 2010 a maio de 2011, nas coletas de plâncton realizadas em 3 diferentes pontos da máquina 1 da usina Governador José Richa, foi possível observar um grande aumento na densidade de larvas de *L. fortunei* durante os meses mais quentes do ano, a partir de setembro quando a temperatura da água na entrada do sistema de resfriamento começou a subir até fevereiro (Figura 34), quando chegou a 26 °C. Foi neste período que a densidade de larvas do mexilhão dourado teve grande aumento, chegando ao valor máximo de 4.200 ind./m³, em novembro de 2010. A menor densidade de larvas e a menor temperatura da água no sistema de resfriamento foram registradas no mês de agosto de 2010, com 12 ind./m³ e 18 °C (Figura 35). Mesmo o mexilhão dourado, sendo uma espécie com precocidade sexual e alta fecundidade, durante alguns meses do ano (períodos mais frios - inverno) a espécie passa por um descanso reprodutivo, desta forma, o ciclo experimental de 12 meses foi extremamente importante neste estudo, para avaliar a sazonalidade reprodutiva da espécie.

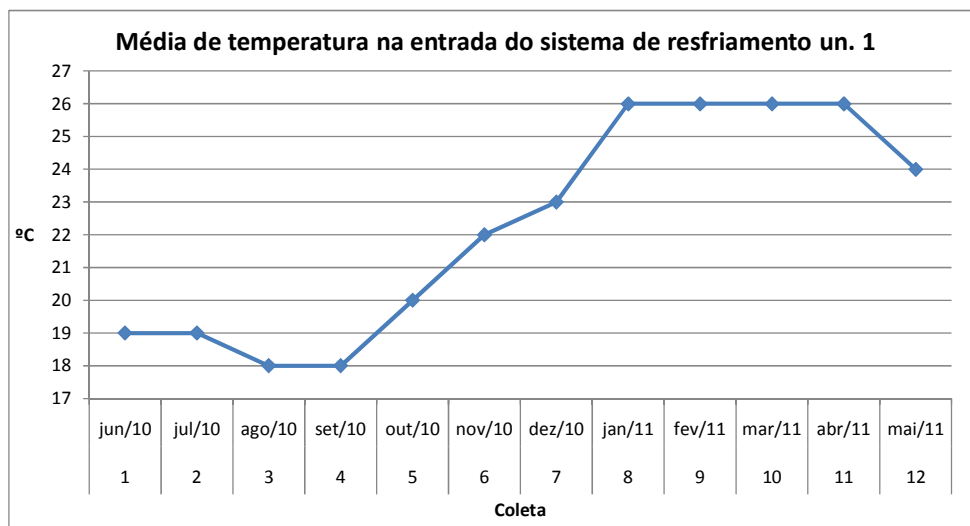


Figura 34 – Médias da temperatura da água na entrada do sistema de resfriamento da unidade 1.

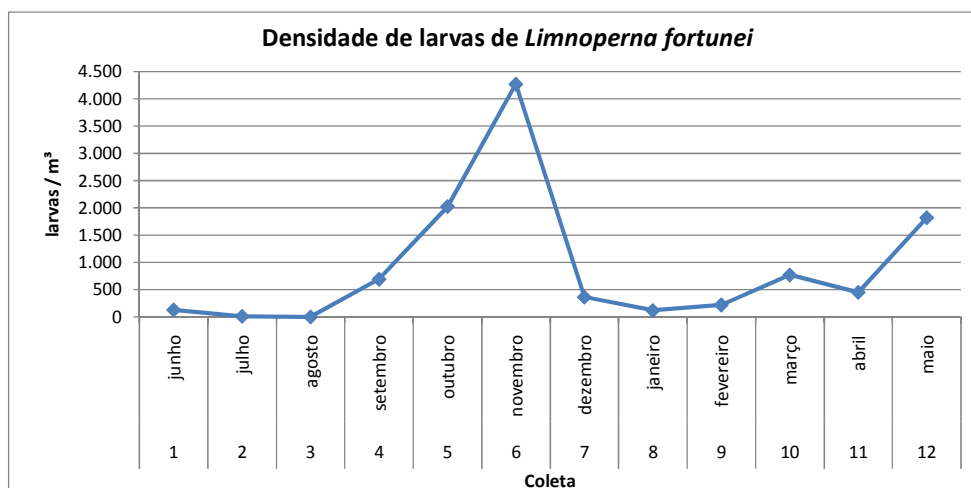


Figura 35 – Densidade média de larvas de *Limnoperna fortunei*/m³ na UHEGJR, durante o período do experimento.

Os 144 corpos de prova coletados e analisados mostraram que todos os tratamentos: dicloro, MXD 100 e NaOH, tiveram algum grau de eficiência no controle da incrustação das espécies invasoras e na deposição do “fouling”, conforme pode ser observado na Figura 36 e na Figura 37.

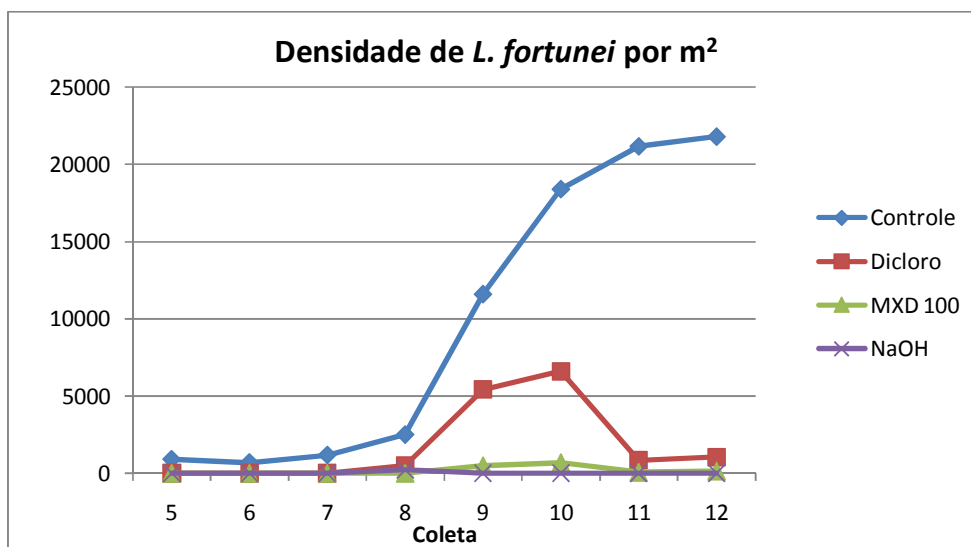


Figura 36 – Densidade média de *L. fortunei*/m², nos corpos de prova dos três tratamentos e do controle.

A primeira incrustação do mexilhão dourado nos CP's ocorreu apenas no mês de outubro de 2010 (quinta coleta), com média de mais de 4 indivíduos fixados por placas (902 MD/m²). O fato de não ter havido incrustação nos 4 primeiros meses, pode ser explicado devido à pequena densidade de larvas no

sistema de resfriamento no início do experimento, além do tempo necessário para a larva se fixar e se desenvolver. Nos meses subsequentes a densidade de mexilhões aumentou drasticamente, com a média atingindo mais de 104 indivíduos por placa (21.805 ind./m²) na décima segunda coleta, mês de maio de 2011. Na Tabela 9, é possível observar o total de mexilhões fixados em cada um dos tratamentos ao longo de 12 meses.

Tabela 9 - Número total de indivíduos encontrados em cada tratamento, durante os 12 meses de experimento.

Tratamento	Número de indivíduos
Controle	1.127
Dicloro	207
MXD 100	20
NaOH	3

Dos três tratamentos, o dicloro obteve os piores resultados no controle do *L. fortunei*, com eficiência média de 86,16% durante os 12 meses de testes, chegando na 10^a coleta (março de 2011), a densidade de mais de 6.500 ind/m². Esta densidade foi suficiente para prejudicar o perfeito funcionamento de filtros e trocadores de calor de usinas hidrelétricas. Tanto o MXD 100 como o NaOH apresentaram uma eficiência muito próxima da ideal, sendo 98,88% e 98,96% respectivamente (Figura 37). Com este grau de controle, sistemas de resfriamento tratados com MXD 100 ou com NaOH, podem operar normalmente em cursos d'água invadidos por *L. fortunei* e *C. caspia*, sem acontecer redução na vazão do sistema de resfriamento e aumentos de temperatura ocasionados por bioincrustação.

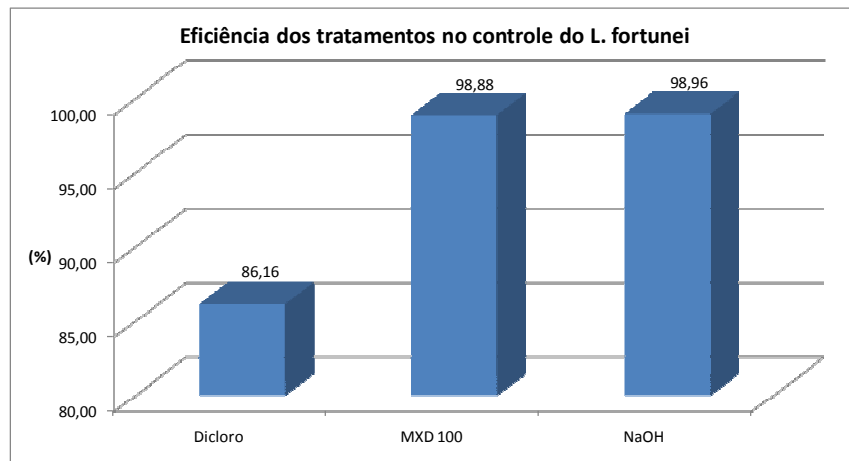


Figura 37 – Eficiência dos tratamentos no controle do *Limnoperna fortunei*.

O “fouling” esteve presente em todos os CP’s desde o primeiro mês do experimento, sendo que nos três tratamentos houve redução na quantidade de lama em relação ao controle, com destaque para o hidróxido de sódio, com redução média na deposição de fouling em 52,70% durante os 12 meses de experimento, seguido do dicloro e do MXD 100 com 40,19% e 39,75%, respectivamente (Figura 38e Figura 39).

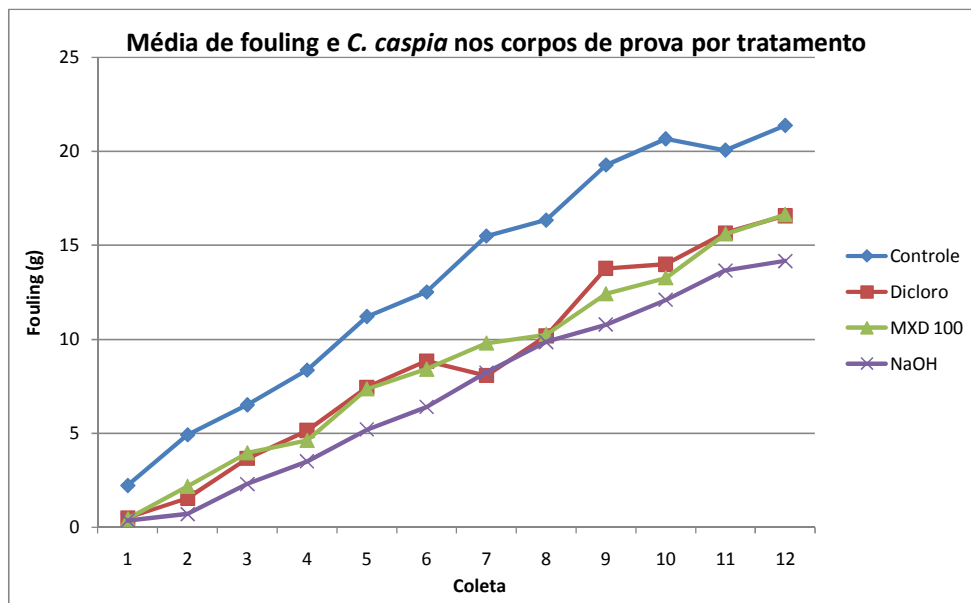


Figura 38 – Média da quantidade de fouling nos corpos de prova.

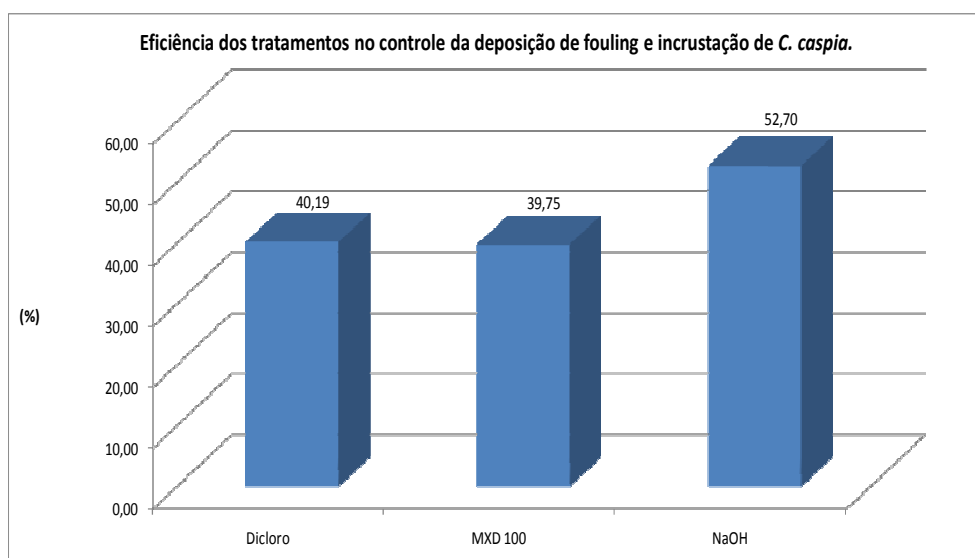


Figura 39 – Eficiência dos tratamentos no controle da deposição de fouling.

Na Figura 40, estão mostradas as percentagens de indivíduos de *L. fortunei* divididos em classes de tamanho, comparando as amostras sem tratamento com a soma dos três tratamentos. Nas amostras sem tratamento pode-se observar uma continuidade de crescimento dos indivíduos, enquanto que nas amostras com tratamento, as larvas que conseguiram se fixar não apresentaram o mesmo desenvolvimento. O maior comprimento encontrado foi de 19 mm representado por um indivíduo do controle, no mês de fevereiro de 2011 e o menor tamanho foi de 1 mm, nos meses de outubro e dezembro de 2010 e janeiro a abril de 2011, ocorrendo em maior número no mês de fevereiro de 2011. Desta forma, podem-se considerar os meses de outubro a abril como principais épocas de recrutamento na usina de Salto Caxias, nestas datas qualquer descuido ou problema com o sistema de injeção pode colocar em risco o funcionamento do sistema de resfriamento da usina.

O tratamento com dicloro apresentou recrutamento de indivíduos com menos de 1 mm nos corpos de prova das coletas 8 e principalmente na 9, com incrustação de 31 indivíduos de *L. fortunei*. Apesar do tratamento com dicloro, uma parcela da população conseguiu se desenvolver aumentando de comprimento nas coletas 10, 11 e 12, conforme mostrado na Figura 41. O maior indivíduo encontrado no tratamento com cloro conseguiu atingir 12 mm na última coleta, isto mostra que

alguns mexilhões, apesar de não terem atingido o mesmo comprimento do controle, conseguiram se adaptar as condições geradas por este tratamento.

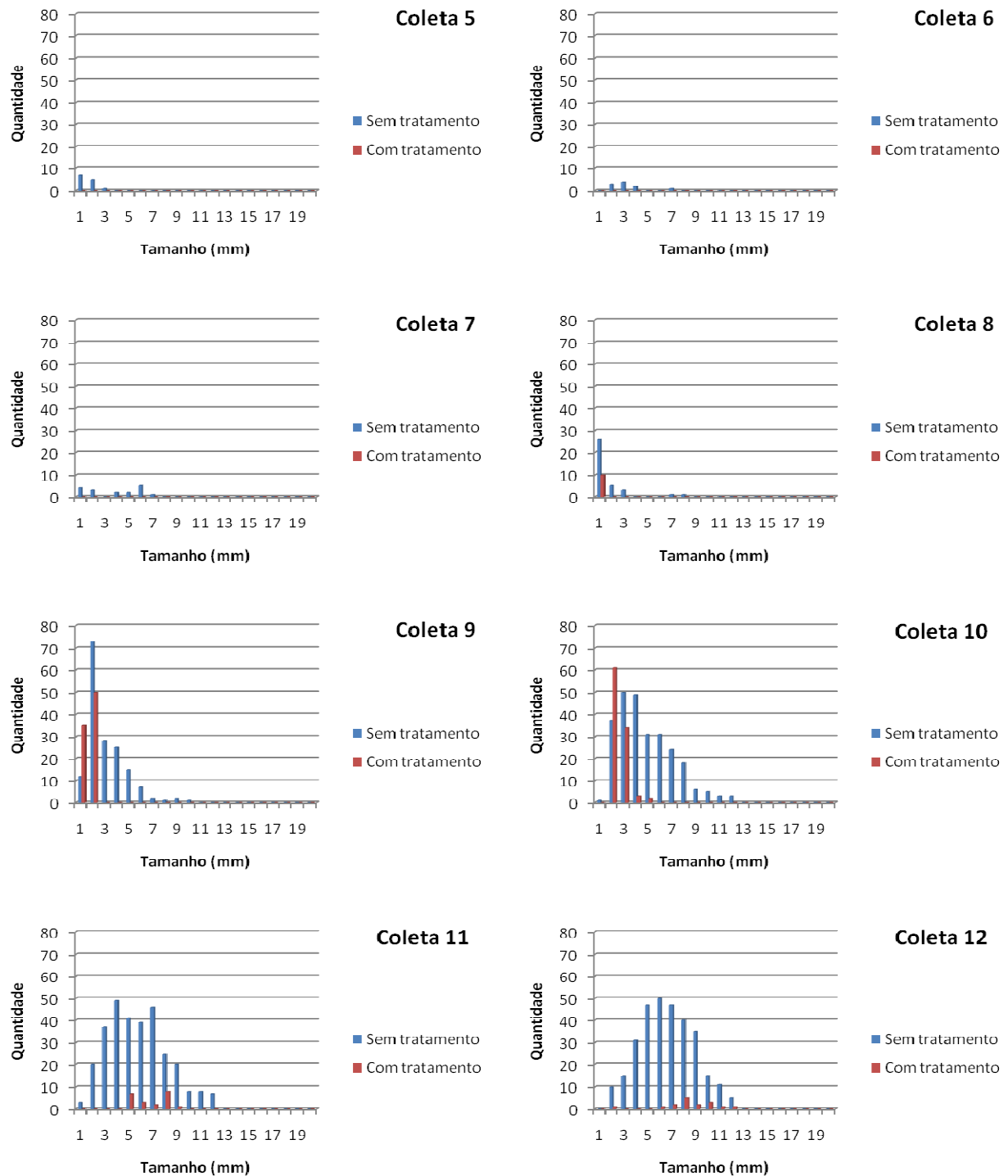


Figura 40 - Distribuição comparativa sem e com tratamento (soma dos 3 tratamentos) das freqüências de tamanho para intervalos de classe de 1 mm. Eixo y – freqüências de tamanhos expressa em percentagem. Eixo x – Comprimentos das conchas

representando as classes de tamanho entre 1 e 19 mm. Os números apresentados no eixo x correspondem ao maior tamanho para cada classe.

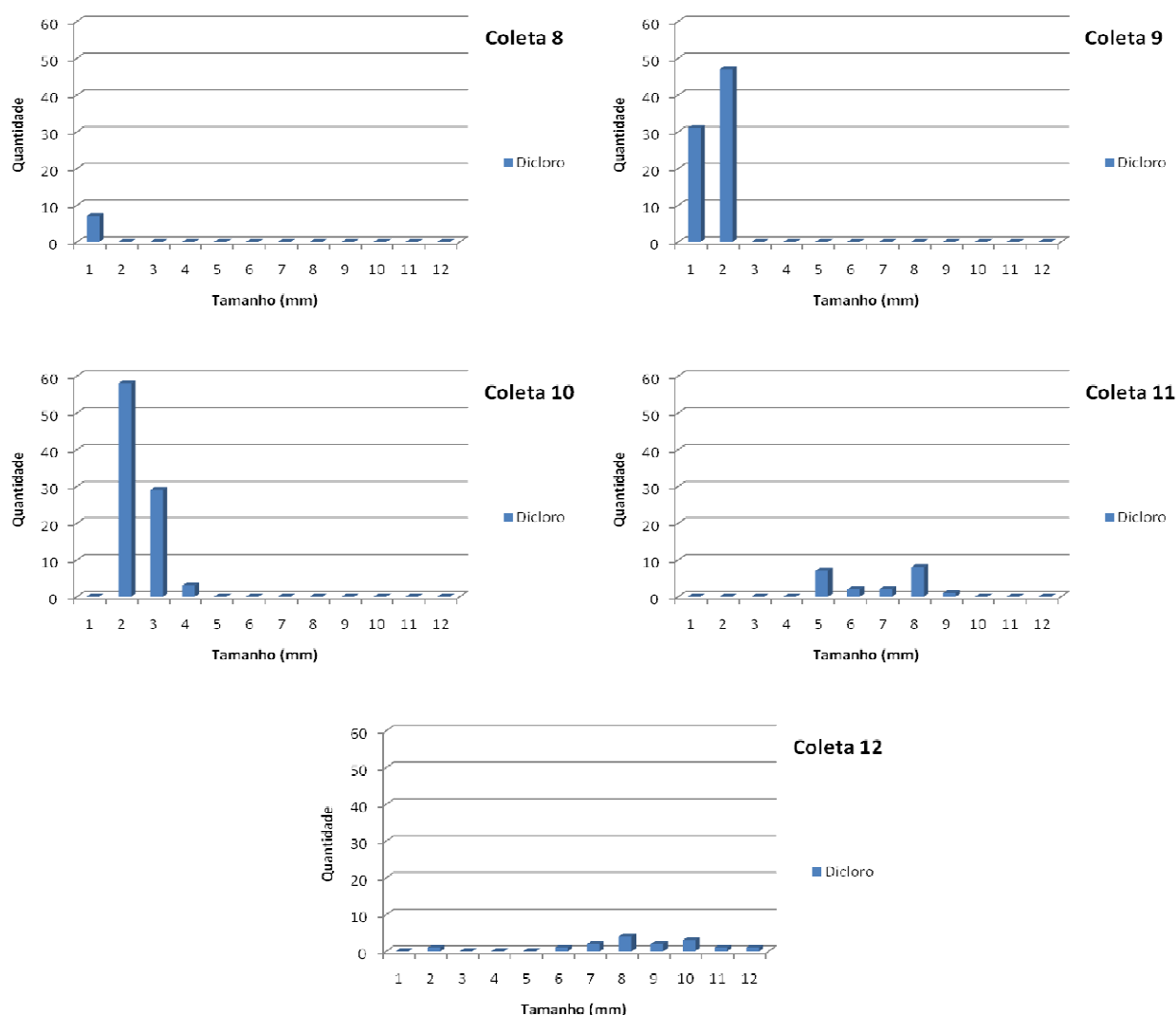


Figura 41 - Distribuição das freqüências de tamanho para intervalo de classe de 1mm. Eixo y – freqüências de tamanhos expressa em percentagem. Eixo x – Comprimentos das conchas representando as classes de tamanho entre 1 e 12mm. Os números plotados no eixo x correspondem ao maior tamanho para cada classe.

No tratamento com MXD 100 ocorreu um pequeno recrutamento nos corpos de prova da coleta 9, mas apenas um molusco conseguiu sobreviver ao tratamento chegando ao final do experimento com 8 mm.

Nos corpos de prova com injeção de hidróxido de sódio, ocorreu um pequeno recrutamento na coleta 8, mas nenhum indivíduo conseguiu se desenvolver no ambiente alcalino.

Nas análises de corrosão dos corpos de prova de aço carbono (Figura 42, Figura 43, Figura 44 e Figura 45), o controle (Figura 46) obteve a maior média de perda de massa após 12 meses de experimento, com 28,57%, 0,08 mm de redução no centro das placas e 0,341 mm nas bordas, seguido sempre pelo Dicloro (Figura 47) com perda de massa de 24,60%, redução de 0,043 mm no meio da placa e 0,253 mm nas bordas. O melhor resultado ocorreu para o hidróxido de sódio (Figura 49) com perda de massa de apenas 19,61%, 0,043 mm no meio da placa e 0,167 mm nas bordas, seguido de perto pelo MXD 100 (Figura 48) com perda de massa de 20,41%, 0,043 mm no meio da placa e 0,178 mm nas bordas. O fato do pior resultado de corrosão não ter sido do dicloro, comprova que produtos oxidantes injetados na concentração correta foram menos impactantes para o aço carbono presente nos sistemas de resfriamento do que a corrosão biológica.

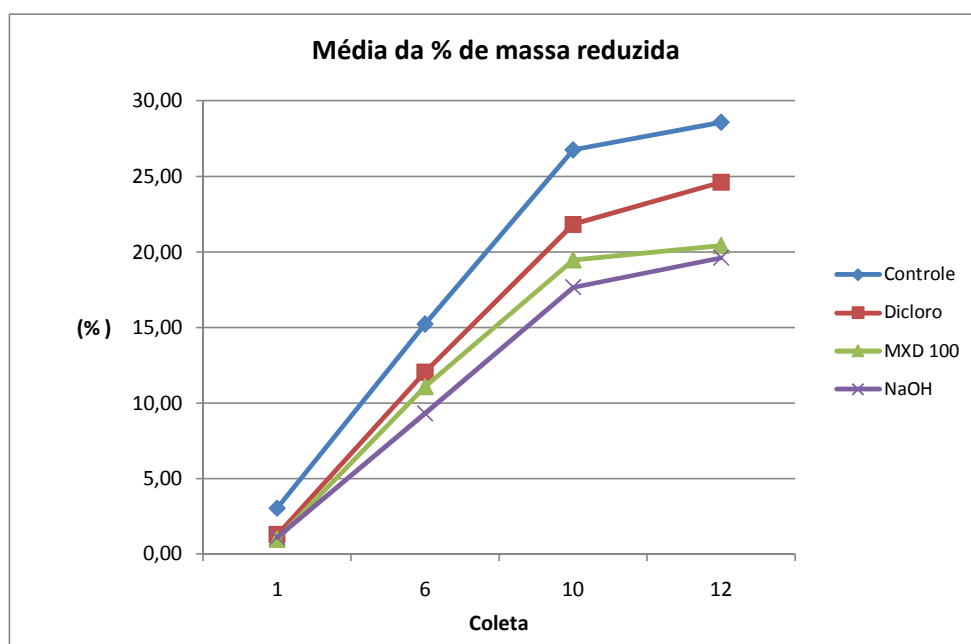


Figura 42 – Percentagem média de massa reduzida nos 3 tratamentos e no controle.

As bordas dos corpos de prova que iniciaram o experimento com 1,500 mm em média chegaram a 1,159 mm no controle, 1,247 mm no dicloro, 1,322 mm no MXD 100 e 1,333 mm no hidróxido de sódio.

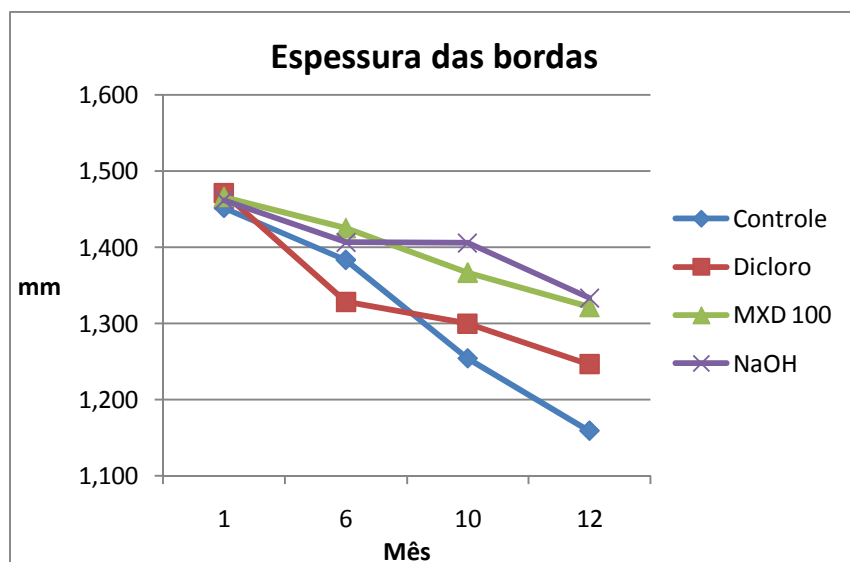


Figura 43 - Média de espessura das bordas dos CP's.

O meio dos corpos de prova iniciaram o experimento com 1,500 mm e após 12 meses de testes atingiram médias de 1,420 mm no controle e no 1,457 mm para os 3 tratamentos químicos.

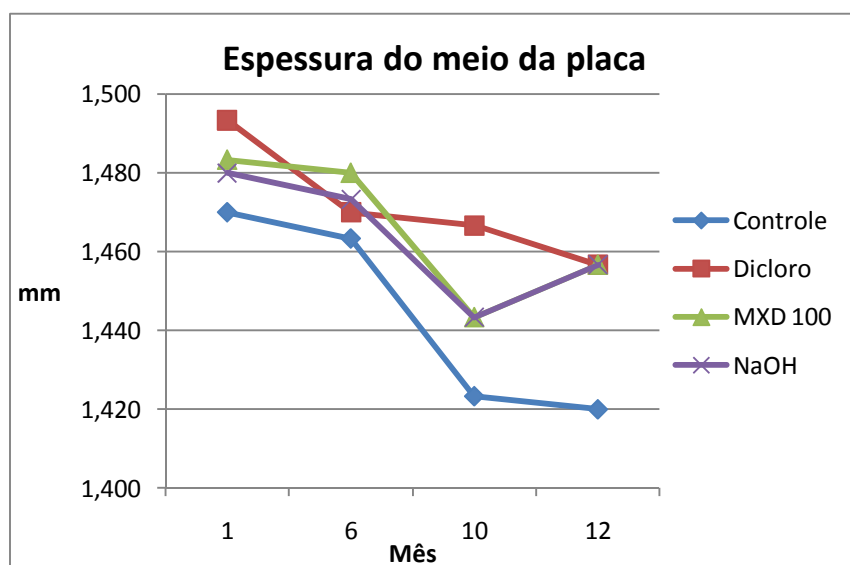


Figura 44 - Média de espessura do centro dos CP's.

Nas análises de corrosão alveolar o pior resultado apresentado foi novamente no controle, com pontos com médias de profundidade de 0,326 mm,

seguido dicloro com 0,236 mm, do MXD 100 com 0,199 e o hidróxido de sódio com 0,147.

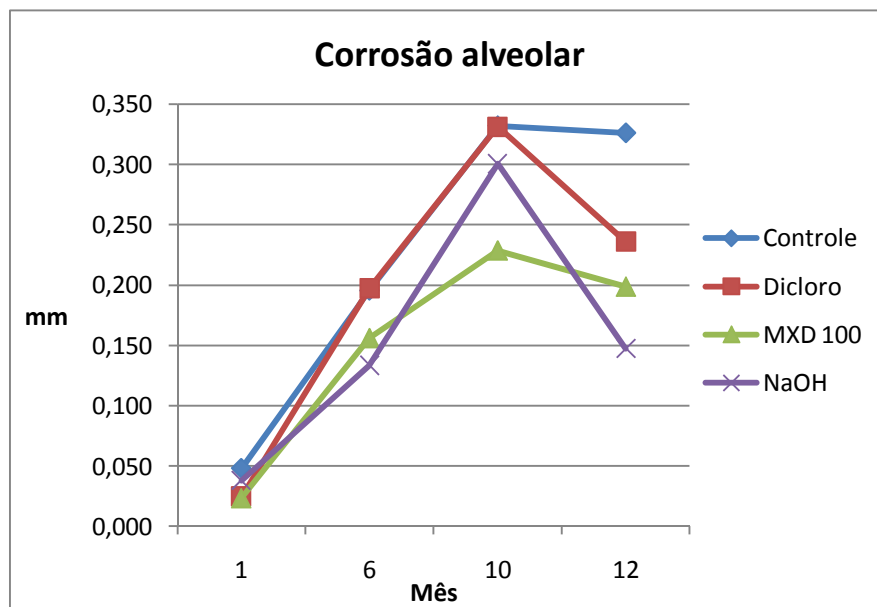


Figura 45 – Média de corrosão alveolar nos CP's.



Figura 46 - Detalhes da corrosão no CP do experimento de controle, visualizado em microscópio estereoscópico.



Figura 47 - Detalhes da corrosão no CP do experimento de dicloro, visualizado em microscópio esteroscópico.



Figura 48 - Detalhes da corrosão no CPs do experimento de MXD 100, visualizado em microscópio esteroscópico.



Figura 49 - Detalhes da corrosão no CP do experimento de NaOH, visualizado em microscópio esteroscópico.

Com o auxílio de um calibrador extensômetro foi possível localizar os pontos de menor espessura dos corpos de prova da 12ª coleta (Tabela 10), 0,414 mm para o dicloro, 0,641 mm para o controle, 0,935 mm para o MXD 100 e 0,960 mm para o hidróxido de sódio. Quando estas regiões foram analisadas no Banco Metalográfico (Tabela 10 e Figura 50 e Figura 51) foi possível observar que apesar da profundidade média da corrosão alveolar no controle ter sido a maior, o ponto com a maior profundidade foi encontrado foi no corpo de prova do tratamento com dicloro 0,50 mm, seguido do controle com 0,41 mm, do MXD 100 com 0,34 mm e do hidróxido de sódio com 0,34 mm.

Tabela 10 – Análise da espessura nos CPs da 12ª coleta

	Calibrador de Extensômetro (mm)	Banco Metalográfico (mm)
Controle	0,641	0,68
Dicloro	0,414	0,50
MXD 100	0,935	0,72
NaOH	0,960	0,83

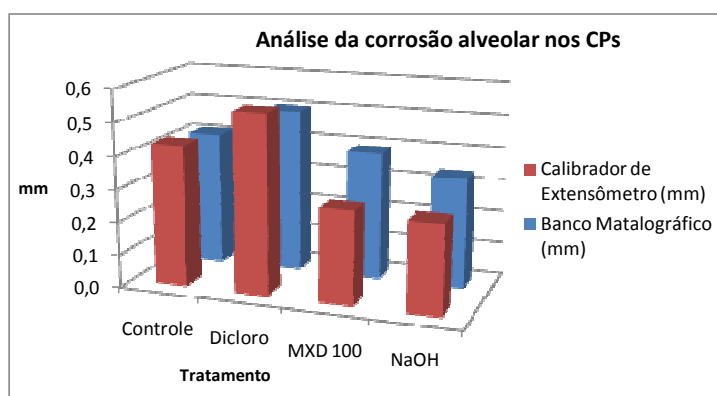


Figura 50 – Comparação da análise de corrosão alveolar nos CPs da 12ª coleta.

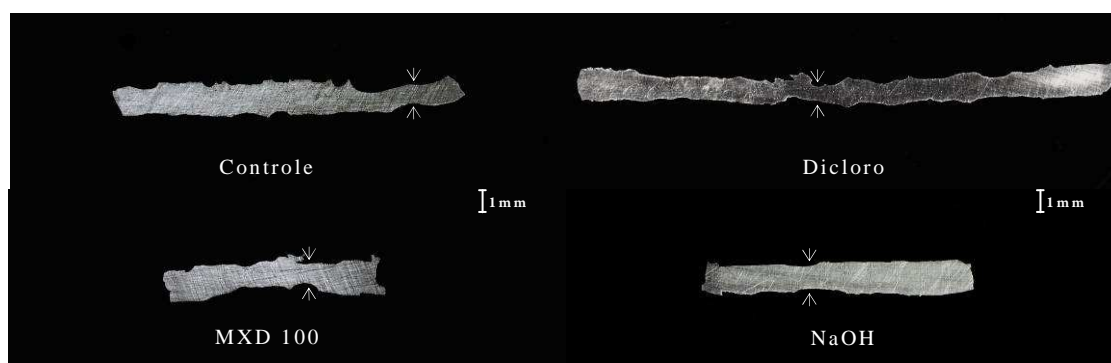


Figura 51 – Foto em microscópio do perfil dos CPs da 12ª coleta, com indicação dos pontos de corrosão alveolar mais profundos.

Com relação ao custo dos produtos químicos utilizados, em cotações realizadas em maio de 2011, o dicloro era vendido por R\$ 8,82/kg, o MXD 100 por R\$ 87,15/l e o hidróxido de sódio por R\$ 1,77/kg (cotações apêndice B). Estes preços foram praticados no mercado para pequenas compras e servem apenas para comparação, usinas hidrelétricas e indústrias que venham utilizar o produto em grandes quantidades, fechando longos contratos, obviamente tem um poder de negociação muito maior.

4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

4.3.1 Análises exploratórias dos dados

Os gráficos das Figura 52 e Figura 53 ilustram a relação entre medidas de comprimento e largura para todos os dados e também os separando por tratamentos, datas e posição na placa (S- mexilhões aderidos no lado superior do corpo de prova, I – mexilhões aderidos no lado inferior do CPs e L – mexilhões soltos com a lama no fundo do frasco de coleta). Foi possível observar que o comprimento e a largura foram relacionados e que esta relação não apresentou efeitos dos tratamentos, pois não se alterou ao longo de experimento e foram independentes da posição na placa. Desta forma, foi possível conduzir as análises usando apenas um destes atributos, o comprimento, para refletir o tamanho dos mexilhões no restante das medidas.

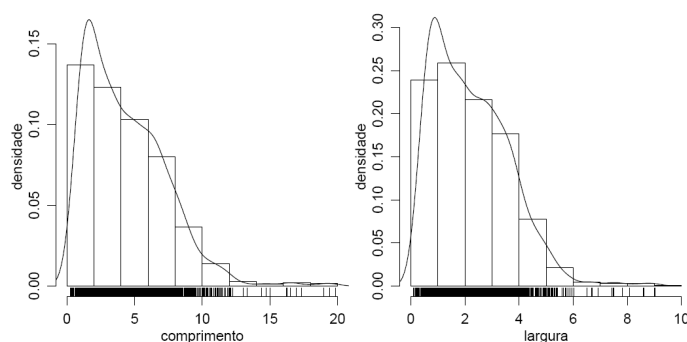


Figura 52 - Medidas de comprimento e largura dos mexilhões coletados no experimento.

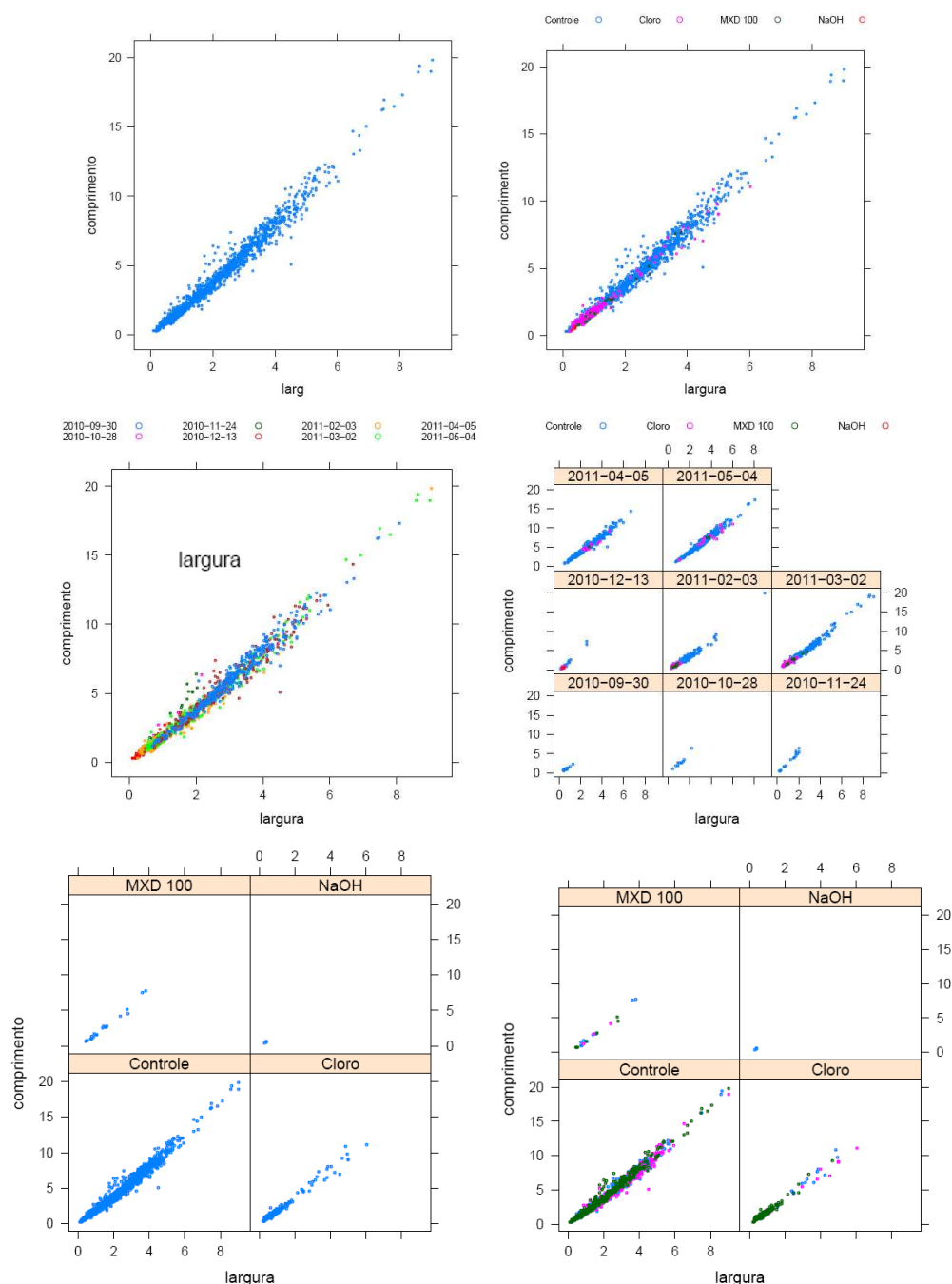


Figura 53 - Relação entre comprimento e largura dos mexilhões coletados no experimento

Na Figura 54, estão mostradas as medidas de comprimento para todas as observações ao longo do período do experimento. Os gráficos mostram os comprimentos de todos os dados conjuntamente e separados pelos tratamentos. No experimento registrou-se a posição na placa (superior, inferior ou solto com a lama no fundo do frasco de coleta) na qual foi encontrado cada mexilhão. Desta forma,

foi possível observar a relação entre as medidas de comprimento e posições na placa.

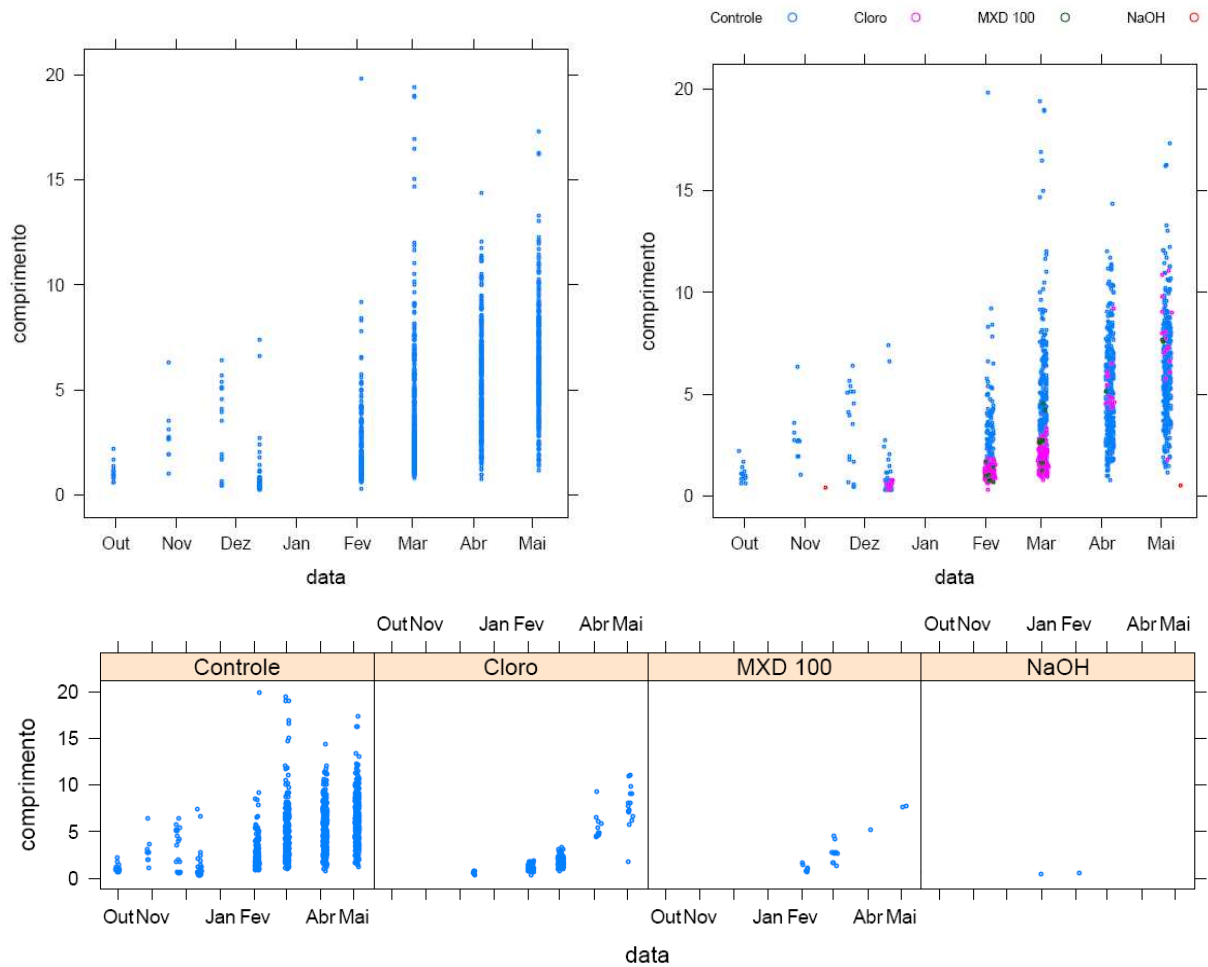


Figura 54 - Comprimento dos mexilhões medidos ao longo do experimento para o total de observações e nos diferentes tratamentos.

Na Figura 55, o primeiro gráfico mostra todos os dados e os demais analisando apenas as placas do tratamento Controle. Pela análise gráfica, concluiu-se não haver relação entre os tamanhos e as posições nas placas.

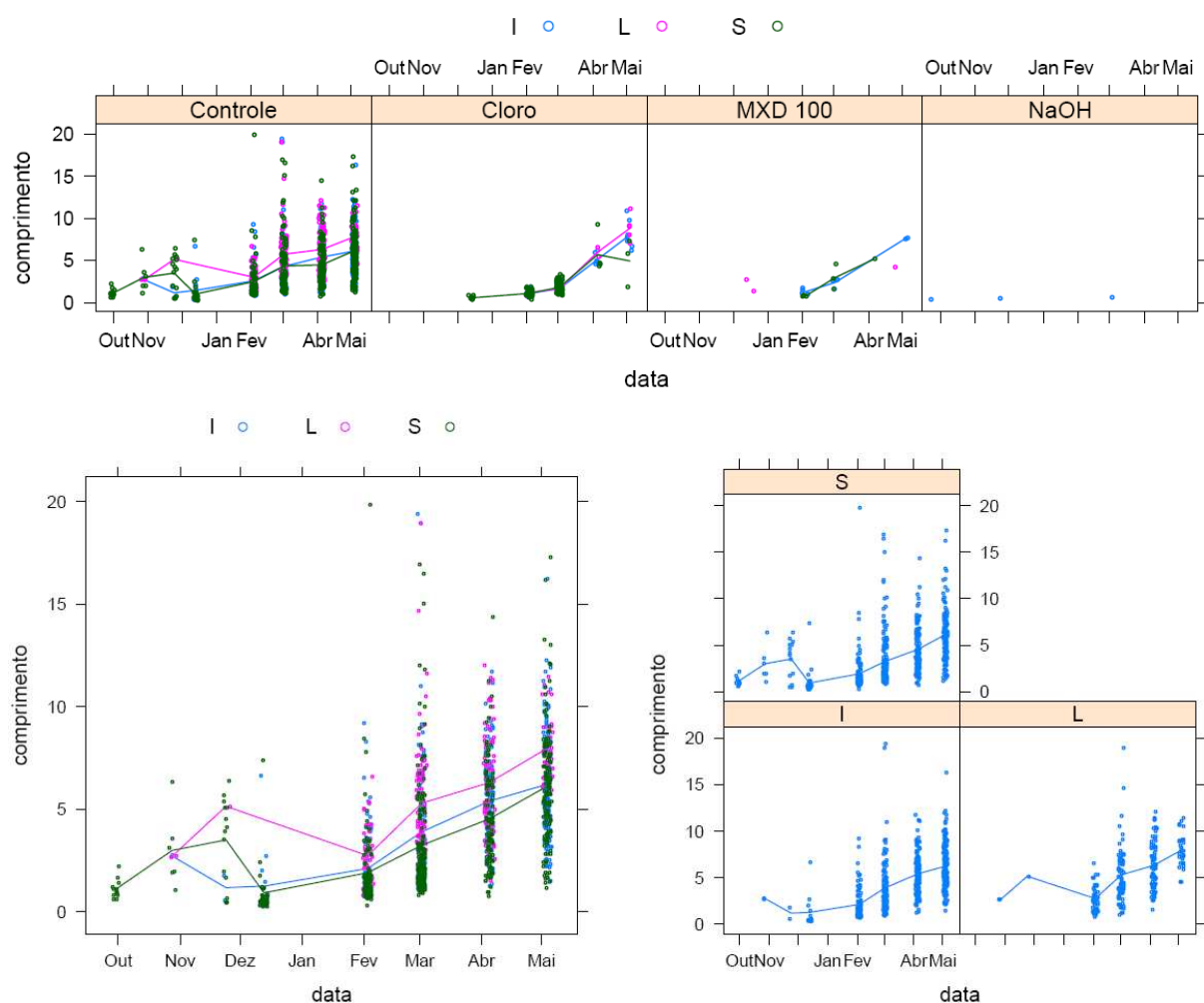


Figura 55 - Comprimento dos mexilhões em relação à posição nas placas (S – superior, I – inferior e L – solto no frasco de coleta com a lama).

4.3.2 Modelagem estatística

Para realização da modelagem estatística, foram realizados ajustes com diversas especificações de modelos na tentativa de encontrar o que melhor expresse o comportamento dos dados. Teste de razão de verossimilhanças entre modelos encaixados foram aplicados para seleção de modelos, testando a significância de termos e efeitos. No modelo final, foram aplicadas inferências como predições e contrastes que expressam as comparações de interesse. Os contrastes definidos pela natureza e interesse no experimento e produtos testados são:

1. Controle x Tratamentos químicos
2. Cloro + MXD 100 x NaOH
3. Cloro x MXD 100

Após uma série de testes e ajustes de modelos o binomial negativo, o Poisson e o inflacionado de zeros se sobressaíram, sendo que no comparativo entre os dois primeiros, o modelo binomial negativo foi claramente superior ao Poisson. Os fatores tratamento e datas possuíam algum embora pequeno efeito sobre a presença/ausência e só foram estatisticamente significativos quando apenas um deles foi incluído neste submodelo e somente ao nível de 10% de significância. Por outro lado, ambos os fatores bem como sua interação afetam claramente o número de indivíduos no submodelo de contagem. Os resultados apontaram que o puramente modelo Binomial Negativo explica bem os dados sem ser significativamente inferior ao inflacionado de zeros. Desta forma, sendo um modelo mais simples é então preferido para a sequência da análise.

Contraste 1. Controle x Tratamentos químicos. Os resultados mostram que os tratamentos diferiram (apresentaram contagens significativamente menores) do controle em todas as datas.

	Contrast	S.E.	t	Pr(> t)
2010-09-30	7.31	1.668	4.38	3.36e-05
2010-10-28	5.60	1.120	5.00	3.01e-06
2010-11-24	4.40	0.723	6.09	3.18e-08
2010-12-13	3.82	0.538	7.10	3.56e-10
2011-02-03	3.32	0.457	7.27	1.63e-10
2011-03-02	3.70	0.514	7.20	2.27e-10
2011-04-05	4.79	0.584	8.21	2.11e-12
2011-05-04	6.27	0.689	9.11	3.29e-14

Contraste 2. Cloro + MXD 100 x NaOH. Os resultados mostram que os tratamentos diferiram (NaOH apresentou contagens significativamente menores) exceto no 2^a, 3^a e 4^a tempos.

	Contrast	S.E.	t	Pr(> t)
2010-09-30	-7.351	2.557	2.875	0.00510081
2010-10-28	-3.458	1.758	1.967	0.05243550
2010-11-24	-0.369	1.177	0.314	0.75428597
2010-12-13	1.413	0.911	1.552	0.12446462
2011-02-03	4.639	0.938	4.945	0.00000379
2011-03-02	5.360	1.207	4.442	0.00002672
2011-04-05	5.338	1.639	3.258	0.00161465
2011-05-04	4.503	2.106	2.138	0.03539714

Na Figura 56, estão mostrados os polinômios ajustados para descrever evolução das contagens de mexilhões para cada um dos tratamentos, segundo o modelo binomial negativo selecionado nas análises.

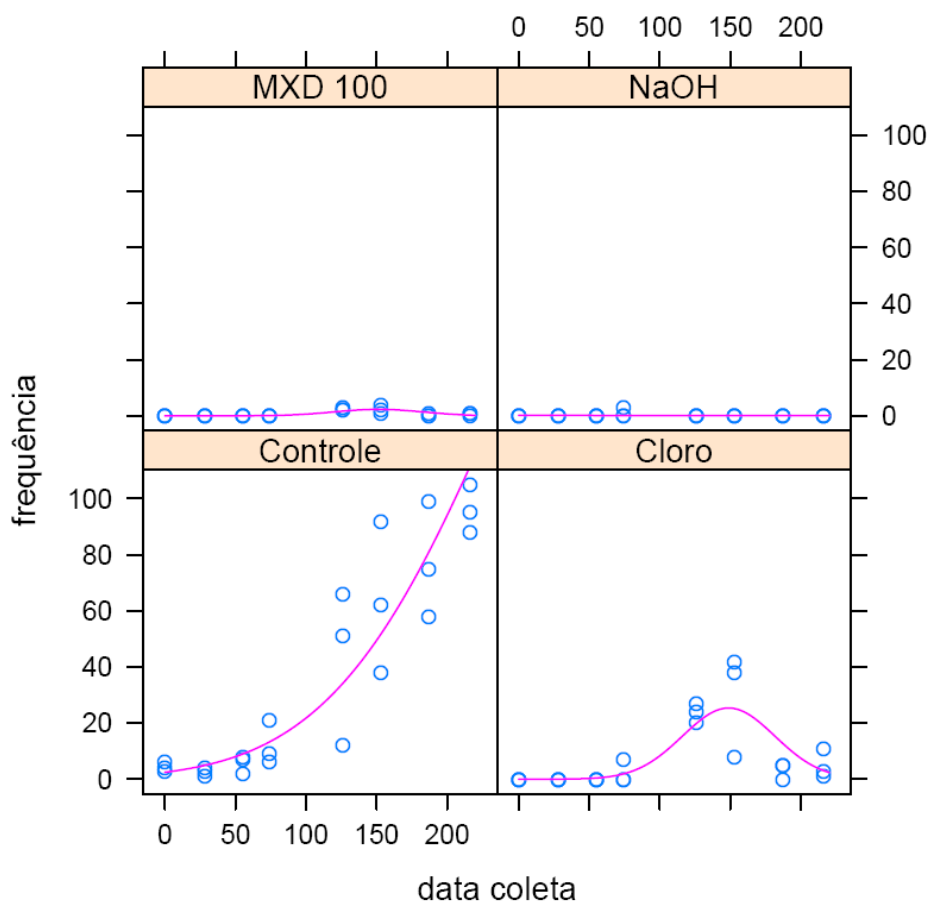


Figura 56 - Ajustes para evolução das contagem para cada tratamento segundo modelo binomial negativo selecionado.

Contraste 3. Dicloro x MXD 100. Os resultados mostram que os tratamentos diferiram (MXD 100 apresentou contagens significativamente menores) exceto nas três datas iniciais para quais as diferenças não foram significativas.

	Contrast	S.E.	t	Pr(> t)
2010-09-30	3.46	4.799	0.721	0.47279426
2010-10-28	3.15	3.210	0.983	0.32849664
2010-11-24	2.91	1.998	1.454	0.14957242
2010-12-13	2.76	1.341	2.056	0.04286846
2011-02-03	2.47	0.476	5.187	0.00000143
2011-03-02	2.39	0.429	5.564	0.00000030
2011-04-05	2.35	0.484	4.843	0.00000568
2011-05-04	2.37	0.967	2.448	0.01641980

Os resultados confirmaram que os tratamentos diferiram do controle e indicaram nítidas diferenças entre dos tratamentos. Foi possível observar na Figura 57 os modelos ajustados com os respectivos intervalos de predição. Neste gráfico a escala é individual para cada um dos tratamentos permitindo uma melhor visualização do comportamento ao longo do tempo.

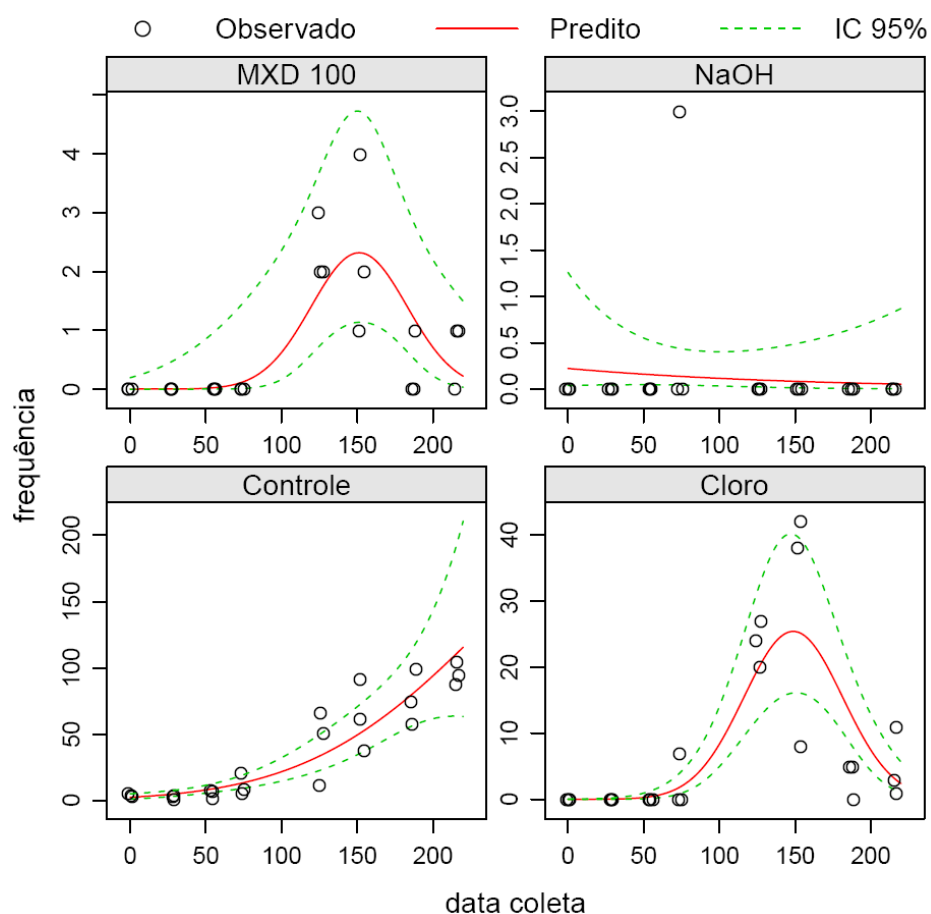


Figura 57 - Ajustes para evolução das contagem para cada tratamento segundo modelo binomial negativo selecionado.

Para o controle as contagens preditas pelo modelo são sempre crescentes. Para o NaOH as contagens de indivíduos permaneceram sempre baixas ao longo do experimento, destacando-se uma única observação atípica. O MXD100 e o dicloro possuíram comportamento semelhante com contagens crescendo a um determinado momento e depois retornando a valores baixos. Foi possível observar que embora exibam o mesmo padrão, as contagens de dicloro foram de valor mais elevado.

4.3.3 Corrosão

Após uma série de testes e ajustes de modelos para análise da corrosão (co), o modelo com intercepto comum por definição e efeito linear, conseguiu-se ajustar as retas que descreveram a corrosão ao longo do tempo para cada produto. Devido ao intercepto ser comum, os diferentes coeficientes angulares ajustados permitiram comparar os produtos e avaliaram as velocidades de corrosão. Visando melhorar o ajuste, um segundo modelo foi utilizado, adicionando um termo de curvatura (Figura 58).

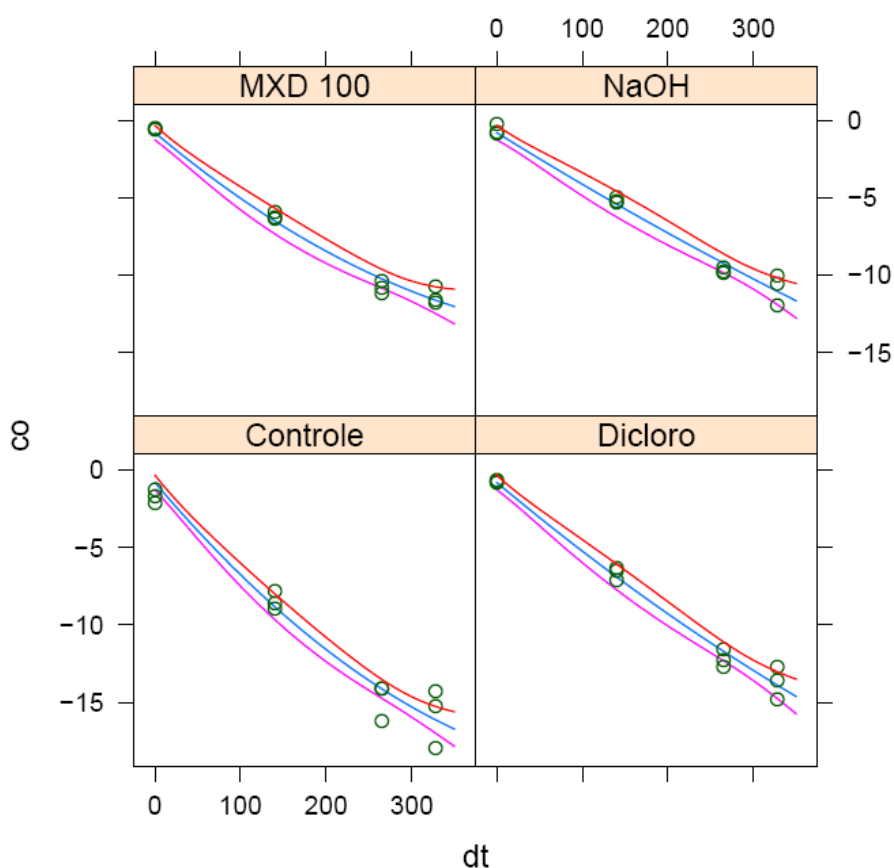


Figura 58 - Modelo ajustado com termo de curvatura fig:quad

No ajuste de modelos de regressão para comparação entre os produtos na última data foram considerados os seguintes contrastes de interesse:

1. Controle x Tratamentos químicos
2. Dicloro + MXD 100 x NaOH
3. Dicloro x MXD 100

A análise dos contrastes (Tabela 11) mostrou diferenças significativas para todos os contrastes, ou seja, (i) a corrosão média do Controle foi superior e diferiu significativamente dos tratados, (ii) a corrosão das placas tratadas com NaOH foi menor e diferiu da dos demais produtos e (iii) a corrosão com MXD 100 foi menor e diferiu da ocorrida com dicloro.

Tabela 11 -Estimativas dos contrastes

	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Graus de liberdade	Valor P	Limite inferior IC	Limite superior IC
C1	3,945894	0,4946888	7,976517	39	1,017412E-09	2,945291	4,9464966
C2	-1,711619	0,5246968	-3,26211	39	2,301789E-03	-2,772918	-0,6503194
C3	-2,277023	0,6058676	-3,758285	39	5,599629E-04	-3,502506	-1,0515401

5. CONCLUSÕES

As metodologias de controle de espécies invasoras e deposição do “fouling” testadas apresentaram resultados satisfatórios. Destacaram-se do grupo de produtos em estudo, o hidróxido de sódio e o MXD 100, pelas suas eficiências no controle do *Limnoperna fortunei* e na proteção a corrosão microbiológica do aço carbono. Os dois produtos apresentaram prós e contras que devem ser levados em consideração na hora da sua escolha.

O hidróxido de sódio foi o mais eficiente para todos os estudos, mas a construção de um sistema de injeção deve ser muito criteriosa, uma vez que se trata de um produto químico com sérios riscos de manipulação e de possibilidades de vazamento. A grande quantidade de NaOH, que deve ser armazenada nas usinas para garantir o perfeito funcionamento do sistema por um período pré-estipulado pela logística de compra, deve ser motivo de preocupação e muito bem estudada.

O MXD 100 apresentou bons resultados, muito próximos aos obtidos com o hidróxido de sódio, levando desvantagem no controle da deposição da lama ferruginosa presente na usina de Salto Caxias. Para tanto, são válidos alguns testes de decisão ou escolha entre um deles. O MXD 100 apresentou a maior desvantagem em relação aos demais produtos testados, quanto ao seu custo, fato que, segundo o fabricante, deve ser melhorado assim que este for comercializado em larga escala. As suas vantagens com relação aos demais foram a facilidade de manipulação, o menor impacto ambiental e o fácil armazenamento, devido à injeção em pequena quantidade, uma vez que, apenas, poucos litros foram suficientes para vários meses de injeção.

Os produtos químicos à base de cloro, muito utilizados desde o início dos problemas de bioincrustação nos sistemas de resfriamento da usina, tanto para o mexilhão zebra como para o mexilhão dourado, podem ser substituídos pelo MXD 100 e pelo NaOH. Este teve a característica de aumentar a eficiência neste controle, diminuir a deposição de “fouling”, e reduzir os efeitos do processo de corrosão química e biológica.

6. TRABALHOS FUTUROS

Períodos de descanso reprodutivo com baixíssima incrustação, como o encontrado nos meses onde a temperatura da água se encontra mais fria no reservatório de Salto Caxias, abrem a possibilidade de um novo estudo, visando reduzir as injeções de químicos nos meses mais frios, com históricos de baixas densidades de larvas do molusco invasor em sistemas de resfriamento.

A comparação do MXD 100 com o hidróxido de sódio, em unidades de resfriamento da mesma usina hidrelétrica, pode mostrar o comportamento dos dois produtos em um mesmo ambiente industrial, com trocadores de calor, filtros, diferenças de vazão e velocidade.

Diversos estudos com outras metodologias químicas, como o ozônio e físicas, como campo eletromagnético, choque elétrico, filtração devem ser pesquisadas para reduzir os custos operacionais e impactos ambientais.

7. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6210: preparo, limpeza e avaliação da taxa de corrosão de corpos de prova em ensaios de corrosão atmosférica. Rio de Janeiro, 1982, 16 p.
- AVELLAR, W. E. P.; MARTIM, S. W. L. & VIANNA, M. P. 2004. Nova ocorrência de *Limnoperna fortunei* (Dunker 1856) (Bivalvia, Mytilidae) para o Estado de São Paulo, Brasil. Braz. J. Biol., 64(4): 739-742.
- ANTUNES R. A.; COSTA I. 2002. Caracterização de produtos de corrosão de aço carbono e aço patinável submetidos a ensaio acelerado de corrosão e ensaio de intemperismo. 6º COTEQ Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos 22º CONBRASCORR – Congresso Brasileiro de Corrosão. Salvador-Bahia.
- BARBOSA, D. S. & RESENDE, E. K. 2002. First record of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia; Mytilidae) in continental waters of Uruguai (rio Negro and rio Yi). Bol. Soc. Zool. Uruguay. 2ª Época, 13:29-33.
- BASKIN Y. 2002. A plague of rats and rubber-vines. The growing threat of species invasions. The Scientific Committee of Problems on the Environment (SCOPE). Island Press, Washington, 377 pp.
- BELZ, C. E. 2006. Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do rio Iguaçu, Paraná. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Zoologia da Universidade Federal do Paraná.
- BOELMAN, S. F., NEILSON, F. M., DARDEAU, E. A. & CROSS, T. 1997. Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) control handbook for facility operators, first edition. Miscellaneous paper. EL-97-1. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- BOLTOVSKOY, D.; CORREA, N.; CATALDO, D. & SYLVESTER, F. 2006. Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Rio de la Plata watershed and beyond. Biological Invasions 8: 947–963.
- BONAFÉ, R. A.; DIAS, C. A.; MATA, F. A. R.; CAMPOS, M. C. S. 2010. Uso do antiincrustante MXD-100 para controle do mexilhão dourado. IV Seminário Brasileiro de Meio Ambiente e Responsabilidade Social do Setor Elétrico.
- BRUGNOLI, E.; CLEMENTE, J.; BOCCARDI, L.; BORTHAGARAY, A. & SCARABINO, F. 2005. Golden mussel *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) distribution in the main hydrographical basins of Uruguay: updates and predictions. Anais da Academia Brasileira de Ciências - 77(2): 235-244.

- BRUSAMARELLO, V. J.; HUDSON, J. L.; SCULLY, J. R.; LUNT, T.; MIKHAILOV, A. S. 2002. Spatial interactions among localized corrosion sites. *Journal of Electrochemical Society*, v. 149, n. 5, pp. B163 – B173, UK.
- BURNS, M. D. M.; GARCIA, A. M.; BEMVENUTI, M. A.; VIEIRA, J. P.; MARQUES, D. M. L.; MORESCO, A. & CONDINI, M. V. L. 2006. NOTES ON GEOGRAPHIC DISTRIBUTION: Bivalvia, Mytilidae, *Limnoperna fortunei*: Distribution Extension. *Check List*: 2 (2).
- BURNS, M. D. M.; GERALDI, R. M.; GARCIA, A. M.; BEMVENUTI, C. E.; CAPITOLI, R. R. & VIEIRA, J. P. 2006. Primeiro registro de ocorrência do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* na Bacia de Drenagem da Lagoa Mirim, RS, Brasil. *Biociências* v14 n° 1 p 83-84.
- CALLISTER JR. W.D.; 2007. *Materials science and engineering: an introduction*. Inc., New York, NY 7th ed, 247pp.
- CAMPOS M. C. S. e MATA F. A. R. 2004. Range limits of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) due to pH variation. In: 13Th International Conference on Aquatic Invasive Species. p 219.
- CAMPOS, M. C. S.; ROLLA, M. E. & FELIPE, G. A. 2005. Ocorrência de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em Minas Gerais. Resumo 998-794. X Congresso Brasileiro de Limnologia.
- CARLTON, J. T. 1999. The scale and ecological consequences of biological invasions in the World's oceans. *Invasive Species and Biodiversity Management*. p. 195-212. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- CATALDO, D. H.; BOLTOVSKOY, D.; POSE M. 2002. Control del molusco incrustante *Limnoperna fortunei* mediante el agregado del moluscicidas al agua. In: Tercera jornada sobre conservación de la fauna íctia em el río Uruguay, Paysandú Uruguay.
- CEFET - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. 2006. Avaliação de corrosão ASTM COPPER STRIP CORROSION. STANDARDS método ASTM D130/IP154.
- CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 2007. Ensaio de ecotoxicidade aguda com *Daphnia similis*, conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (1993). Certificado número 401980 de 12.07.2007.
- CHAMBERS, C. W. 1956. A procedure for evaluating the efficiency of bactericidal agents. *J. Milk Food Technol.*, v.19, n.17, p.183-187.
- CHERRY, D. S.; ROY, R.L.; LECHLEITNER, R. A.; DUNHARDT, R. A.; PETERS, G. T.; CAIRNS, J. 1986. *Corbicula* fouling and control measures at the Celco plant, Virginia. *Am Malacol Bull* 2:69–81.

- CHIESA, F. 2002. Resfriadores compactos: uma proposta de solução para trocadores de calor ar-água. Dissertação de mestrado apresentada ao departamento de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- CLAUDI, R. & MACKIE, G. L. 1994. Practical manual for zebra mussel monitoring and control. Lewis Publishers, Boca Raton, FL 227 pp.
- CLAUDI, R. 1995. Zebra mussel mitigation; Overview. In. Proceedings of the Fifth International Zebra Mussel and Other Aquatic Nuisance Organisms Conference, Toronto, Canada. pp. 47-55.
- DARRIGRAN, G. 1995. Um problema para los sistemas naturales de agua dulce del Mercosul. Revista Museo La Plata, La Plata, 1 (5): 85-87.
- DARRIGRAN, G. & PASTORINO, G. 1995. The recent introduction of a freshwater asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. The Veliger 38(2): 171-175.
- DARRIGRAN, G. & DAMBORENEA, C. 1997. A South American bioinvasion case history: *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), the golden mussel. Amer. Malac. Bull. 20: 105-112.
- DARRIGRAN, G. & EZCURRA DE DRAGO, I. 2000. Distribucion de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), em la cuenca del Plata. Region Neotropical. Medio Ambiente 13 (2): 75-79.
- DARRIGRAN, G. & EZCURRA DE DRAGO, I. 2000. Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America. The Nautilus 114(2): 69-73.
- DARRIGRAN, G.; PENCHASZADEH, P. & DAMBORENEA, M. C. 2000. An invasion tale: *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) in the Neotropics. Proc. 10th International Aquatic Nuisance Species and Zebra-Mussels Conference, Toronto, Canadá: 219-224.
- DARRIGRAN, G. 2002. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. Biological Invasions 4: 145-156.
- DARRIGRAN, G.; PENCHASZADETH, P.; DAMBORRENEA, C. & GRECO, N. 2002. Abundance and Distribution of the Golden Mussel (*Limnoperna fortunei*) Larvae in a Hydroelectric Power Plant in South America. International Conference On Aquatic Invasive Species.
- DARRIGRAN, G. & DAMBORENEA, C. 2009. Introdução a biologia das invasões. O mexilhão dourado na América do sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle. Editora Cubo, São Carlos – SP. 246pp.
- DARRIGRAN, G.; BOEGER, W.; DAMBORENEA, C. & MAROÑAS, M. 2009. Evaluation of sampling and analysis techniques for early detection of

Limnoperna fortunei (Mytilidae) in limit areas of its distribution. Braz. J. Biol. 69(3) 979-980.

- Di CASTRI, F. 1989. History of biological invasions with special emphasis on the old world. Pages 130 in J. A. Drake, H. A. Mooney, F. di Castri, R. H. Groves, F. J. Kruger, M. Rejmanek, and M. Williamson, editors. Biological invasions: a global perspective. John Wiley & Sons, New York, New York. USA.
- DI PERSIA, D. H. & BONETTO, A. A. 1997. Nuevas citas de *Limnoperna fortunei* para la cuenca del rio Paraná, Argentina. Neotropica 43 (109-110): 119-120.
- DOHERTY, F.G.; FARRIS, J. L.; CHERRY, D. S.; CAIRNS, J. 1986. Control of the freshwater fouling bivalve *Corbicula fluminea* by halogenation. Arch Environ Contam Toxicol 15:535-542.
- DRAKE, J. & BOSSENBROEK, J. 2004. The potential distribution of zebra mussels in the United States. BioScience. v54: 931-941.
- FERNANDES, F. C. & COUTINHO, R. 2008. Programa para controle do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), nas águas jurisdicionais brasileiras (CT-HIDRO/CNPq). Rio de Janeiro: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), p. 381.
- FILIPPO, R. de. 2003. Mexilhão dourado nos ecossistemas brasileiros. SEPRONEWS. Série meio ambiente. Ano 1 nº 3.
- GARCIA, D. A. Z.; ORSI, M. L.; CASIMIRO, A. C. R. & KURCHESKI, G. 2009. Registro de ocorrência de *Limnoperna fortunei* no médio e baixo Paranapanema: uma ameaça as suas águas. Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil, 13 a 17 de Setembro de 2009, São Lourenço – MG.
- GIORDANI, S.; NEVES, P. S.; ANDREOLI, C. V. 2005. *Limnoperna fortunei* ou mexilhão dourado: impactos causados, métodos de controle passíveis de serem utilizados e a importâncias do controle de sua disseminação. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Grohmann PA, Brum PR (2007) *Cordylophora caspia* (Hydrozoa, Anthomedusae, Clavidae) em corpos d'água doce no Brasil: um caso de bioincrustação no sistema de resfriamento das turbinas da usina de funil, Itatiaia, RJ. XII congresso latino-americano de ciências do mar - XII colacmar.
- HADDAD, M.A. & NAKATANI, K. 1996. Primeiro registro de *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydroida) em águas continentais brasileiras. In: Resumos XXI Congresso Brasileiro de Zoologia, SBZ, 5 - 9 de fevereiro de 1996, Porto Alegre, RS. p. 10.
- ITUARTE, C. F. 1997. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) em la costa uruguaya del Rio de la Plata. Neotropica 43 (109-110); 117-118.

- KAJIMOTO, Z. P.; ALMEIDA, N. L.; SIQUEIRA, F. J. S. 1991. Corrosão atmosférica de metais no Estado de São Paulo, São Paulo, IPT, p. 59 (IPT Boletim 37).
- KERLEY, B.; BRODIE, G. & HELTON, B. 2000. Hydro plant interim zebra mussel control strategy. Public Power Institute Study Closure Report 97026, Tennessee Valley Authority. Knoxville, Tennessee.
- KOWALSKI, E. L.; KOWALSKI, S. C. 2008. Revisão sobre métodos de controle do mexilhão dourado em tubulação. Revista Produção On Line. Vol. 8, n 2
- LABORATÓRIOS ECOLYZER. 2007. Avaliação da biodegradabilidade imediata em sistema fechado, protocolo 18041/07.
- LABORATÓRIOS ECOLYZER. 2007. Avaliação de irritabilidade dérmica e ocular em coelhos, protocolo 18041/07.
- LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. 2004. In.: Estudos para controle da deposição de lama ferruginosa (“fouling”) nos sistemas de resfriamento das usinas de Nova Ponte e Emborcação da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG. Relatório Final. Curitiba, Paraná.
- LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento 2008. In.: Projeto Aneel/Copel CGER-040 “Programa de avaliação e controle de espécies aquáticas invasoras na bacia do rio Iguaçu”. Relatório Final. Curitiba, Paraná.
- LANGONE, J. A. 2005. Notas Sobre El Mejillón Dorado *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (BIVALVIA, MYTILIDAE) en Uruguay. PUBL. EXTRA MUS. NAC. HIST. NAT. ANTROPOL. (Montev., En Línea) Número 1.
- LIMA, L. L.; QUEROL, E. & OLIVEIRA, E. V. 2008. Ocorrência de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca, Mytilidae) no rio Quaraí, município de Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brasil. Biodiversidade Pampeana 6(1); 50-52.
- LIMA, M. A. G. A. 2008. Biocorrosão em unidades geradoras de energia elétrica. 28º Congresso Brasileiro de Corrosão.
- LOPES, A. D. A.; MACEDO, E. N.; SANTOS DE OLIVEIRA, M. S.; FREIRE DE SOUZA, S. A. 2010. Aumento da produtividade de geradores de usinas hidroelétricas através da automação do processo de limpeza dos trocadores de calor do sistema de resfriamento. Convencion internacional de la ingenieria em Cuba (CIIC 2010).
- MACEDO, J. A. B. 2004. Ouso de derivados clorados orgânicos no processo de desinfecção de água para abastecimento público. Congresso Brasileiro de Química.

- MAGARA, Y.; Y. MATSUI; Y. GOTO & A. YUASA. 2001. Invasion of the non-indigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan. Journal of Water Supply: Research and Tecnology, London, 50 (3):113-124.
- MANSUR, M. C.; RICHINITTI, L. M. Z. & SANTOS, C. P. 1999. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), molusco bivalve invasor, na Bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. Biociências v7 nº 2 p147-150.
- MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; DARRIGRAN, G.; HEYDRICH, I.; CALLIL, C. T. & CARDOSO, F. R. 2003. Primeiros dados qualitativos do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no Delta do Jacuí, no Lago Guaíba e na Lagna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. Revista Brasileira de Zoologia. 20(I); 75-84.
- MANSUR, M. C. D. & PEREIRA, D. 2006. Bivalves límnicos da bacia do rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil (Bivalvia, Unionoidea, Veneroidea e Mytiloidea). Revista Brasileira de Zoologia 23 (4) 1123-1147.
- MARTINS, D. S.; VEITENHEIMER-MENDES, I. L.; RICKES, E. M. & TIM, G. 2003. Registro de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) no município de Pelotas, sul do Rio Grande do Sul, Brasil. XVIII Encontro Brasileiro de Malacologia, Rio de Janeiro. Livro de Resumos: 213.
- MATA, F. A. R.; PATRICIO, F. C.; CAMPOS, M. C. S.; FRÓES, C. L. 2007. Avaliação da mortalidade de larvas de mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei*, (Dunker 1857), expostas em diferentes concentrações do produto MXD 100. II Encontro Sul-Americano de Integração de Ações para Controle do Mexilhão Dourado.
- MATA, F. A. R.; DIAS, C. A.; PATRICIO, F. C.; ROLLA, M. E., CARVALHO, M. D.; FREITAS, L. C. 2008. Avaliação da eficiência da substância MXD 100 na prevenção de incrustação e corrosão, por lama ferruginosa, nos trocadores de calor tipo placa, da usina de Nova Ponte (CEMIG/MG). III Seminário Brasileiro de meio ambiente e responsabilidade social no setor elétrico.
- MEYER, S. T. 1994. Chlorine Use in Water Disinfection, Trihalomethane Formation, and Potential Risks to Public Health. Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 10 (1): 99-110, Jan/Mar.
- MORRI, C. 1980. Alcune osservazioni sulle *Cordylophora ataliane* (Cnidária, Hydroidea). Atti. V. Conv. Gr. "G. Gadio", Varese, maggio 1980. Itália.
- MORTON, B. 1973. Some aspects of the Biology and functional morphology of the feeding and digestion of *Limnoperna fortunei* (Dunker) (Bivalvia: Mytilacea). Malacologia, 12: 265-281.

- MORTON, B. 1975. The Colonization of Hong Kong's raw water supply system by *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilacea) from China. *Malacol. Rev.*, 8: 91-105.
- ODLAUG, T. E., PFLUG, I. J. 1976. Sporocidal properties of chlorine compounds: applicability to cooling water for canned foods. *J. Milk Food Technol.* v.39, n.7, p.493-498.
- OLIVEIRA, M. 2003. Ocorrência e Impactos do Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*, Dunker 1857) no Pantanal Mato-Grossense. Circular Técnica, 38, EMBRAPA.
- OLIVEIRA, M. D.; PELLEGRIN, L. A.; BARRETO, R. R.; SANTOS, C. L. & XAVIER, I. G. 2004. Área de Ocorrência do Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*) na Bacia do Alto Paraguai, entre os anos de 1998 e 2004. Documento 64, EMBRAPA.
- OLIVEIRA, M. D.; TAKEDA, A. M. & BARROS, L. F. 2006. Invasion by *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) of the Pantanal wetland, Brazil. *Biological Invasions* 8: 97-104.
- O'NEILL, C. R. Jr. 1997. Economic impact o zebra mussels – results of the 1995 National zebra mussel information clearinghouse study. *Great Lakes Research Review.* 3(1). 35-42.
- PARESCHI, D. C.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; MEDEIROS, G. R.; LUZIA, A. P. & TUNDISI, J. G. 2008. First occurrence of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) in the Rio Tietê watershed (São Paulo State, Brazil). *Braz. J. Biol.*, 68(4, Supl.): 1107-1114.
- PASTORINO, G.; DARRIGRAN, G.; MARTIN, S. M. & LUNASCHI, L. 1993. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), nuevo bivalvo invasor em águas del Rio de La Plata. *Neotropica*, 39 (101-102): 34.
- PESTANA, D. 2006. Aspectos bioecológicos do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae) (Dunker, 1857). Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.
- PESTANA, D.; PIE, M. R.; OSTRENSKY, A.; BOEGER, W. A.; ANDREOLI, C.; FRANCESCHI, F. & LAGOS, P. 2008. Seasonal Variation in Larval Density of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae) in the Iguaçu and Paraná Rivers, in the Region of Foz do Iguaçu, Paraná, Southern Brazil. *Brazilian archives of biology and technology*.
- PESTANA, D.; OSTRENSKY, A.; TSCHÁ, M. K. & BOEGER, W. A. 2010. Prospeção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nos principais corpos hídricos do estado do Paraná, Brasil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 50 (34), 553-559.

- PHILLIPS, S.; DARLAND, T. & SYTSMA, M. 2005. Potencial Economic Impacts of Zebra Mussels on the Hydropower Facilities in the Columbia River Basin. Prepared for the Bonneville Power Administration by Pacific States Marine Fisheries Commission. <http://www.psmfc.org/>
- PIMENTEL, D. ZUNIGA, R. MORRISON, D. 2005. Update on the enviromental and economic costs associated whith alien-invasive species in the United States. *Ecology Economics*, 52, 273-288.
- RAMSEY, G. G.; TACKETT, J.H.; MORRIS, D. W. 1988. Effect of low-level continuous chlorination on *Corbicula fluminea*. *Environ Toxicol Chem* 7:855–856.
- RAJAGOPAL, S. V.; NAIR, K. V. K.; VAN DER VELDE, G.; JENNER, H. A. 1997. Response of the mussel, *Brachidontes striatulus*, to chlorination: An experimental study. *Aquat Toxicol* 3:135–149.
- RAJAGOPAL, S. V.; VENUGOPALAN, P.; NAIR, K. V. K.; AZARIAH, J. 1995. Response of green mussel, *Perna viridis* (L), to chlorine in the context of power plant biofouling control. *Mar Behav Physiol* 25:261–274.
- RIEDER, E. S.; BRUSAMARELLO, V.; BIANCHI, A. L.; BALBINOT, A.; 2009. Investiga  o dos principais processos de corrosão em esta  es de energia elétrica do estado do RS. *Revista Matéria*, v. 14, n 3, PP 1000 – 1014.
- RUMI, A.; MARTÍN, S.; TASSARA, M. & DARRIGRAN, G. 1996. Moluscos de água dulce de la Reserva Natural e Histórica Isla Martin Garcia. Rio de La Plata. Argentina. *Comunicaciones Sociedade Malacol  gica do Uruguay* 70-71: 7-12.
- SCARABINO, F. & VERDE, M. 1994. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em la costa Uruguay del rio de La Plata (Bivalvia; Mytilidae). *Com. Soc. Malac. Urug*:VII(66-67); 374-375.
- SEGUNDO, S. M. A.; KOSEL, O.; VIANNA, L. F. L.; ESMANHOTO, E.; NEVES, E. F. A. 1993. Metodologia desenvolvida para remo  o de “fouling” no sistema de resfriamento das unidades geradoras da usina Governador Parigot de Souza – US/GPS. XII SNPTEE.
- SILVA, J. S. V. & SOUZA, R. C. C. L. 2004.   gua de Lastro e Bioinvasão. Editora Interciência. Rio de Janeiro, RJ.
- SILVEIRA F. L & BOSCOLO, H. K. 1996. Primeira ocorrência de *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Hydrozoa, Clavidae) para o estado de São Paulo.
- TOMINAGA, M; MÉDIO, A. 1999. Exposi  o humana a trihalometanos presentes em água tratada revista de Saúde Pública São Paulo: v.33 n.4.

- VILLAR, C.; MERCADO, L.; CAPÍTULO, A. R. & BONETTO, C. 1997. Presencia del molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia; Mytilidae) em el bajo Paraná. Gayana Zool. 61(2): 87-96.
- VITOUSEK P. M., H.A. MOONEY, J. LUBCHENCO y J.M. MELILLO. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. Science 277: 494-499.
- VON RUCKERT, G.; CAMPOS, M. C. S. & ROLLA, M. E. 2004. Alimentação de *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857): taxas de filtração com ênfase ao uso de Cyanobacteria. Acta Sci. Biol. Sci., vol. 26, no. 4, p. 421-429.
- ZANELLA, O. & MARENDIA, I. D. 2002. Ocorrência de *Limnoperna fortunei* na Central Hidroelétrica de Itaipu. V Congreso Latinoamericano de Malacología. San Pablo, Brasil. Resúmenes: 41.

Apêndice A

Atualização da ocorrência de *Limnoperla fortunei* na América do Sul.

Ocorrência	Citação	País	Local	Ponto	Longitude	Latitude
1991	PASTORINO <i>et al</i> 1993	Argentina	Rio da Prata	Balneario Bagliardi	-55,81608818	-34,91617448
				Balneário Atalaya	-57,98273762	-34,99951815
1993	DARRIGRAN & PASTORINO 1995	Argentina	Rio da Prata	Punta Lara	-57,98273906	-34,79951844
				Bagliardi	-57,81607281	-34,91618412
				Punta Blanca	-57,66607382	-34,93285003
				Atalaya	-57,54940755	-34,99951603
				Magdalena	-57,51607435	-35,01618251
				Punta Indio	-57,23274148	-35,24951412
				Punta Piedras	-57,13274091	-35,43284669
1994	SCARABINO & VERDE 1994	Uruguai	Rio da Prata	Balneario Artilleros (Departamento de Colonia)	-57,53274492	-34,44951679
				Playa Pascual (Departamento de San José)	-56,41608444	-34,78284423
1994/1995	DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO 2000	Argentina	Estuário do Rio da Prata	Cidade de Bernal	-58,23273816	-34,66618652
			Estuário do Rio da Prata	Retiro	-58,23273816	-34,66618652
			Estuário do Rio da Prata	Porto de Buenos Aires	-58,3660711	-34,58285396
1995	RUMI ET AL 1996 apud DARRIGRAN & DAMBORENEA (2009)	Argentina	Rio da Prata	Ilha Martim Garcia	-58,24940812	-34,18285398
1995	DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO 2000	Argentina		San javier and Correntoso	-60,7494073	-31,66620302
				margem direita, Salado del Norte-Santo Tomé	-60,7494073	-31,66620302
1995	SCARABINO & VERDE 1994	Uruguai	Rio da Prata	Barrancas de San Pedro	-58,84940172	-34,46618982
				Arazatí (Departamento de San Jose)	-56,91608176	-34,61618023
1995	ITUARTE 1997	Uruguai	Rio da Prata	Praias da cidade de Colonia del Sacramento	-57,81607636	-34,41618487
1995	DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO 2000	Argentina	Rio Paraná	Vuelta del Este, Zarate	-59,01606978	-34,99524485
				Paso Burghi, Rosario	-60,63273267	-32,99953385

1996	BRUGNOLI <i>et al</i> 2005	Uruguai	Bacia do rio Santa Lucia	Colorado	-56,1494189	-34,91617607
1996	DI PERSIA & BONETTO 1997	Argentina	Medio Paraná	Laguna setubal, perto de santa fé e arroyo el chueco	-60,58274249	-31,54953576
				Lagunas San Pedro o Capón	-60,46607755	-31,39953546
				Santo Domingo o Leyes	-60,46607692	-31,4995353
				Setúbal o Guadalupe em toda sua extensão	-60,58274249	-31,54953576
				Rios Colastine, Santa Fé - Salado inferior, Coronda	-60,58274196	-31,63286896
				Portos das Diamante e rosário	-60,64940551	-32,0495353
1996	DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO 2000	Argentina	Confluência entre Paraná e Paraguai	Ilha Cerrito	-58,71611212	-27,33286952
1996	DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO 2000	Argentina	Rio Paraná	proximo a cidade de Santa Fé	-60,46607671	-31,53286858
1996	VILLAR <i>et al</i> 1997	Argentina	Baixo Paraná	Cidade de Paraná, Arroyo Seco (25 Km abaixo de Rosário)	-60,51607522	-31,71620186
				Brazo Largo (sobre rio Paraná Guazú)	-58,66607394	-33,8661898
1997	DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2005	Paraguai	Rio Paraguai	Assunção	-57,63279578	-25,2828708
1997	DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO 2000	Paraguai	Rio Paraguai	Porto de Assunção	-57,63501796	-25,28870413

				De Campana	-59,2833333	-29,1333333
				1	-59,52944444	-29,7602778
				2	-59,5294444	-29,6038889
				3	-59,6052778	-30,6016667
				4	-59,5722222	-30,6025000
				5	-59,8300000	-30,9783333
				6	-60,0877778	-31,2575000
				7	-60,2811111	-31,5688889
1997	DI PERSIA & BONETTO 1997	Argentina	Rio Paraná	8	-60,6569444	-31,8266667
				9	-60,7213889	-32,3850000
				10	-60,6997222	-32,8036111
				11	-60,4850000	-33,1366667
				12	-60,2058333	-33,3191667
				13	-59,9802778	-33,4694444
				14	-59,7227778	-33,6091667
				15	-33,8022222	-59,4541667
				16	-59,2716667	-33,9311111
				Goya (Argentina)	-58,9327367	-34,14952401
1998	DARRIGRAN <i>et al</i> 2002	Argentina	Alto rio Paraná	Hidrelétrica de Yacyretá	-56,73279184	-27,48286135
1998	OLIVEIRA & BARROS 2003	Brasil	Pantanal	Corumba	-57,64948574	-18,98289156
1998	DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO 2000	Argentina	Alto rio Paraná	Porto de Posadas	-55,83279816	-27,51619111
				Ilha do Chico Inglês	-51,21615462	-30,03283264
				Canal da Pintada	-51,24948777	-30,01616615
				Canal Formoso	-51,24948811	-29,94949968
1998	MANSUR <i>et al</i> 2003	Brasil	Delta do Rio Jacuí	Saco da Pólvora	-51,24948777	-30,01616615
				Ilha do Serafim	-51,26615481	-29,91616652
				Canal Maria Conga	-51,23282132	-29,99949947

1998	OLIVEIRA <i>et al</i> (2004)	Brasil	Bacia do Alto Paraguai	Baia do Tuiuiú	-57,65309732	-18,8212255
				Rio Paraguai - Corumbá	-57,65504114	-19,0203914
				Rio Paraguai - Ladário	-57,5978193	-19,0203913
				Rio Paraguai-Porto Murtinho	-57,93305997	-27,7253654
				Canal do Tamengo	-57,66666667	-18,9833333
1999	OLIVEIRA <i>et al</i> (2004)	Brasil	Bacia do Alto Paraguai	Rio Paraguai -Bela Vista	-57,69060053	-17,6409523
				Baia do Castelo	-57,53559879	-18,5878927
				Rio Paraguai -Morraria Acurizal	-57,66393379	-17,7306741
				Rio Paraguai -Forte Coimbra	-57,7661488	-19,8828886
1999	OLIVEIRA <i>et al</i> 2006	Brasil	Pantanal	Baia do Tuiuiú	-57,65309732	-18,8212255
				proximidades Forte Coimbra	-57,77837091	-19,8923331
				proximidades Bela Vista do Norte	-57,69532274	-17,6340079
				Lago Castelo	-57,56615421	-18,5662262
				Lago Tamengo	-57,66617108	-18,9833333
1999	CLEMENTE & BRUGNOLI, 2002	Uruguai	Rio Yi	Rio Yi	-56,800556	-33,2769600
1999	BRUGNOLI <i>et al</i> 2005	Uruguai	Bacia do rio Negro	Usina de Palmar	-57,28275582	-33,1161845
1999	MANSUR <i>et al</i> 2003	Brasil	Delta do Jacuí, no Lago Guaíba e na Laguna dos Patos	Arambaré	-51,49948106	-30,8994979
				Rio São Lourenço	-51,96614153	-31,3328320
2000	OLIVEIRA <i>et al</i> (2004)	Brasil	Bacia do Alto Paraguai	Porto Esperança	-57,4405963	-19,5981665
2000	BRUGNOLI <i>et al</i> 2005	Uruguai	Bacia do rio Uruguai	Las Cañas	-58,36608097	-33,1495228
		Argentina	Bacia do rio Uruguai	Guauguaychu	-58,36608097	-33,1495228
2000	BRUGNOLI <i>et al</i> 2005	Uruguai	Bacia rio Santa Lucia	Paso Belastiqui	-56,06608634	-34,8995090
			Bacia rio Santa Lucia	Aguas corrientes	-56,38275322	-34,5161778

2001	LANGONE, 2005	Uruguai	Rio Uruguai	Colonia La Concordia	-58,42135544	-33,5820224
			Rio Uruguai	Carmelo	-58,30857567	-33,9931323
			Rio Uruguai	Nueva Palmira (Dep. De Colonia)	-58,41413134	-33,8639664
			Rio Uruguai	Fray bentos	-58,29024845	-33,1098003
			Rio Uruguai	Nuevo Berlín (Departamento de Río Negro)	-58,06275097	-32,9786884
			Rio Negro	Mercedes (Departamento de Soriano).	-58,00469418	-33,2311877
			Rio San Salvador	Dolores (Departamento de Soriano)	-58,22552397	-33,5175771
			Rio San José	San José de Mayo (Departamento de San José)	-56,70914097	-34,3175686
			Rio Santa Lucia	Santa Lucía (Departamento de Canelones)	-56,39914247	-34,4461780
			Cuenca de La Laguna Mirin	Balneario Mirim	-53,25751168	-32,7470005
2001	OLIVEIRA <i>et al</i> (2004)	Brasil	Bacia do Alto Paraguai	Baía Zé Dias	-57,51171214	-17,8770621
2001	DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2005	Argentina	Rio Uruguai	Usina de Salto Grande	-57,94942913	-31,2828576
2001	DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2005	Argentina	Cordoba	Usina nuclear em rio tercero	-64,44944993	-32,1995070
2001	ZANELLA & MARENDA, 2002	Brasil	Rio Paraná	Usina de Itaipú	-54,56615029	-25,4161928
2002	BRUGNOLI <i>et al</i> 2005	Uruguai	Bacia do rio da Prata	Colonia del Sacramento e Rosário / Punta Espinillo, Montevideo)	-56,1494189	-34,9161761
			Bacia do rio Negro	Usina Baigorria	-56,7994273	-32,9328493
2002	AVELAR <i>et al</i> 2004	Brasil	Rio Paraná	São Paulo	-53,04617269	-22,5486701
2002	DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009	Brasil	RIO Paranaíba	Usina de São Simão (CEMIG)	-50,49876389	-19,0188889
2003	OLIVEIRA <i>et al</i> (2004)	Brasil	Bacia do Alto Paraguai	Baía Gaíva	-57,68615585	-17,7340075
			Bacia do Alto Paraguai	Rio Paraguai - Amolar	-57,4740495724	-18,0858343418
			Bacia do Alto Paraguai	Canal Baía Mandioré	-57,4515499536	-18,2549979867
			Bacia do Alto Paraguai	Rio Miranda - Passo do Lontra	-57,0368309447	-19,5771987500

2003	BRUGNOLI <i>et al</i> 2005	Uruguai	Bacia do rio Santa Lucia	Paso Severino reservatório	-56,29938198	-34,3327824
			Rio Piraquara, Piraquara (Sanepar)		-53,7826834855	-25,7162862005
2003	TAKEDA <i>et al</i> 2003	Brasil	Guaricana (Copel) rio Arraial São José dos Pinhais	Reservatórios próximos a Curitiba	-48,8660232270	-25,7163248398
2003	MARTINS <i>et al</i> 2003 apud DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009	Brasil	Lagoa dos Patos	Praia do Laranjal	-52,2327061765	-31,7495393554
			Lagoa dos Patos	Ilha Feitoria	-52,0327060257	-31,6662093345
2003	OLIVEIRA, 2003	Brasil	Rio Miranda - Passo do Lontra	Pantanal	-57,03683094	-19,5771988
2004	OLIVEIRA <i>et al</i> , 2004	Brasil	Bacia do Alto Paraguai	Rio Miranda – foz do rio Vermelho	-56,9807199373	-19,6108096924
			Bacia do Alto Paraguai	Rio Apa - foz	-57,9293372845	-22,1063102645
2004	ROLLA <i>et al</i> 2004 apud VON RUKERT <i>et al</i> , 2004	Brasil	Rio Paraná	Reservatório de Jupiá	-50,98267143	-20,0663984
2004	VON RUKERT , 2004	Brasil	Rio Paraná	UHE Ilha Solteira	-51,3161927	-20,4162016
2004	AVELAR <i>et al</i> 2004	Brasil	Rio Paraná	Próximo ao reservatório de Rosana	-52,98283935	-22,6828639
2004	CAMPOS <i>et al</i> 2005 apud DARRIGRAN & DAMBORENEA 2009	Brasil	Rio Paranaíba	Porto Alencastro	-50,1328340100	-19,6495486711
				Confluência com Rio Claro	-50,8328662654	-19,3162052880
				Confluência com Rio Verde	-50,1328719767	-19,1828707969
2005	BURNS <i>et al</i> 2006	Brasil	Bacia de drenagem da Lagoa Mirim		-52,38280187	-31,8494990
2005	PARESCHI <i>et al</i> 2008	Brasil	Reservatório de Ibitinga e Bariri	Rio Tietê	-48,9333333333	-21,9500000000
			Reservatório de Ibitinga e Bariri	Rio Tietê	-48,9328730629	-22,2000000000
2005	DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009	Brasil	Pantanal	Cáceres	-57,69805556	-16,7069444
2005	PESTANA <i>et al</i> 2008	Brasil	Rio Paraná		-54,5923585887	-25,5778359988
			Rio Iguaçu		-54,5661495766	-25,5828588833

2006	BURNS <i>et al</i> 2006	Brasil	Lago Nicola	Reserva Ecológica do Taim	-52,51612983	-32,5828311
2006	GARCIA <i>et al</i> 2009	Brasil	Rio Paranapanema	Próximos à UHE Escola Engenharia Mackenzie (Capivara)	-51,3828513721	-22,6995255793
				jusante das UHE Canoas I e Canoas II	-50,5495236114	-22,9495220570
2006	MANSUR & PEREIRA 2006	Brasil	Lagoa dos Patos / Lagoa Mirim	Rio Pardo junto ao rio Jacuí	-52,2328133843	-29,9661701530
				Porto de Estrela rio taquari	-51,9494848917	-29,4661705021
				Capilha (TAIM), lagoa Mirim	-52,5827964449	-32,4994982150
				Rio dos Sinos Sapucaia do Sul	-51,2161555593	-29,8494998541
2006	DARRIGRAN <i>et al</i> 2009	Argentina	Rio Carcaranã		-61,1021994	-32,5117468
			Rio tercero in Villa Maria		-63,15212782	-32,2514570
			Rio Tercero		-64,06756318	-32,0930516
			Rio Segundo in Despeñaderos	Usina Piedras Moras	-64,1505726	-32,1046320
				Usina Rio tercero	-64,24293193	-32,1194824
					-64,17104988	-32,4859017
				Usina Los Molinos	-64,30248569	-31,4994334
				Usina San Roque	-64,29558738	-31,2449736
2007	Comunicação pessoal Duke Energy	Brasil	Rio Paranapanema	UHE Chavantes	-49,731667	-23,128889
				UHE Salto Grande	-49,996667	-22,901667
				UHE Capivara	-50,250833	-22,938333
				UHE Canoas I	-50,517222	-22,941111
				UHE Canoas II	-51,358056	-22,660278
				UHE Taquaruçu	-52,000556	-22,544444

2007	PESTANA <i>et al</i> 2010	Brasil	Rio Iguaçu	Marmelândia	-53,00991566	-25,3152810
			Rio Iguaçu	Quedas do Iguaçu	-53,34517303	-25,3378721
			Rio Iguaçu	Faxinal do Céu	-51,40451689	-25,5925246
			Rio Iguaçu	São mateus do Sul	-50,23067647	-25,5256109
			Rio Iguaçu	Porto Amazonas	-49,53167288	-25,3298194
			Rio Piquiri	Francisco Alves	-53,59528639	-24,0431074
			Rio Piquiri	Ubiratã	-53,0779776	-24,33562244
			Rio Tibagi	Primeiro de Maio	-51,0286868463	-22,86674606
2008	LIMA <i>et al</i> , 2008	Brasil	rio Quaraí	Barra do quaraí	-57,5661047898	-30,21619149
2006	Lactec - Comunicação Pessoal	Brasil	Rio Iguaçu	Cidade de Porto Lupion	-53,40385399	-25,30485471
				Trilha da Bananeiras - Parque Nacional Iguaçu	-54,23561041	-25,35896197
2009	Lactec - Comunicação Pessoal	Brasil	Rio Caí		-51,35137746	-29,82533015
			Rio Jacuí	Usina de Ernestina	-52,55278042	-28,50869095
			Rio uruguai	Uruguiana	-57,09598503	-29,75184532
2006	Lactec - Comunicação Pessoal	Brasil	Rio Iguaçu	Usina hidrelétrica Salto Caxias	-53,3255809200	-25,50431455
2007	Lactec - Comunicação Pessoal	Brasil	Rio Iguaçu	Usina hidrelétrica Segredo	-52,5081616600	-25,70173476
2011	Lactec - Comunicação Pessoal	Brasil	Rio das Antas	Próximo a Faria Lemos Rio das Antas	-50,71694505	-29,08810533
			Rio Jacuí	Cachoeira do Sul	-52,89506911	-30,06354894
			Rio Uruguai	Itaqui	-56,33335701	-29,70467622
			Rio Ibicuí	Manoel Viana	-55,28992742	-29,35852969

Apêndice B

Cotação dos produtos químicos utilizados.

A

Copel/Lactec

A/C

Sr Otto

Segue abaixo proposta preço solicitada:

Tabletes 100 gramas do Sal de 1,3,5 Triazina 2,4,6 Triona 1,3 Dicloro Sódio

Marca Comercial San Tab – 57 % Cloro Ativo Mínimo

Preço: R\$ 8,82/kg

Embalagem: Balde Plásticos c/10 Kg cada

Prazo Pgto: Faturado 30 dias(Sujeito a análise e aprovação crédito)

ICMS: 128% já incluso

Frete: CIF UHE Salto Caxias-PR



PROPOSTA MAXCLEAN nº 19.30.05.11

SISTEMA DE ENGENHARIA MX

**TECNOLOGIA APLICADA NO CONTROLE DO MEXILHÃO DOURADO
(*Limnoperna fortunei*), LAMA FERRUGINOSA, HIDROZOÁRIOS E
BRIOZOÁRIOS**

**CLIENTE: INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O
DESENVOLVIMENTO - LACTEC**

At.:

**Otto Samuel Mäder Netto
Lactec - CEHPAR - DPRA
Eng. Químico - Pesquisador
(41) 3361 - 6193**

Belo Horizonte, 30 de maio de 2011

MAX CLEAN AMBIENTAL & QUÍMICA S/A
R. José Veríssimo, 748 – Bairro J. Encantado - São José da Lapa – MG
CEP –33350-000 - Tel/Fax: (31) 3623-6311 * 3623-9100 *
maxclean@maxcleanambiental.com.br

1/4

Ref:19.30.05.11

PROPOSTA COMERCIAL

Atendendo à solicitação de V.Sas., estamos apresentando a nossa proposta comercial de aquisição do produto MXD-100, para a finalidade de controle e prevenção de bioincrustação.

OBJETIVO

Fornecimento do produto MXD-100, para controle do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), hidrozoários, briozoários e Lama Ferruginosa, o mesmo deverá ser injetado na planta de testes, instalada na UHE Salto Caxias.

ESCOPO DE FORNECIMENTO

- Fornecimento de 20 Kg do antiincrustante MXD-100
- Fornecimento dos laudos de laboratório executados com o MXD-100 antes do início das atividades, quais sejam:
 - a) toxicidade aguda, onde se estimou a concentração letal dos produtos sobre os bioindicadores selecionados - micro-crustáceos *Daphnia* e *Ceriodaphnia*,
 - b) biodegradabilidade em um sistema fechado,
 - c) ecotoxicidade aguda de alevinos dos peixes piau, corimba, lambari e pacú,
 - d) DL 50 (dose letal média) em ratos, aplicado em via oral,
 - e) irritabilidade dérmica,
 - f) irritabilidade ocular,
 - g) corrosão.

PREÇO PRODUTO

Valor total do fornecimento (20 Kg): R\$ 1.743,00 (Hum mil setecentos e quarenta e três reais)

INCIDÊNCIA DE IMPOSTOS

ICMS: incluso

EMBALAGEM DO PRODUTO

O produto MXD-100 será transportado em embalagens de 20 kilos, identificados e lacrados.

MAX CLEAN AMBIENTAL & QUÍMICA S/A
R. José Veríssimo, 748 – Bairro J. Encantado - São José da Lapa – MG 2/4
CEP –33350-000 - Tel/Fax: (31) 3623-6311 * 3623-9100 *
maxclean@maxcleanambiental.com.br

Ref:19.30.05.11

VALIDADE DESTA PROPOSTA

A validade desta proposta é de 10 dias

CONDIÇÕES DE PAGAMENTO

O pagamento da fatura deverá ocorrer com prazo de 28 dias após confirmação e aceite do pedido.

OBSERVAÇÕES TÉCNICAS

GARANTIA

A MAXCLEAN garante a limpeza gradativa e preservação de todo o sistema, inclusive do selo de carvão, onde aplicado o produto químico MXD-100, evitando a formação de novas incrustações conforme orientações, aplicações aqui descritas e fundamentalmente evitando as onerosas paradas e propiciando a manutenção das condições ideais de funcionamento da vazão e pressão.

EQUILÍBRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO

De acordo com os princípios da comutatividade e do Equilíbrio-Financeiro de nossos fornecimentos, bem como das normas que regem as Licitações e os Contratos Administrativos, consubstanciados na Lei 8666/93, alterada e consolidada pela lei 883/94, os preços aqui apresentados, que possibilitam a execução do objeto desta proposta, serão passíveis de revisão, quando do rompimento de seu equilíbrio Econômico-Financeiro, através de eventuais variações de custo, quando for contratado.

CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO

Faturamento conforme combinado

Frete: FOB

Entrega: Imediata

MAX CLEAN AMBIENTAL & QUÍMICA S/A
R. José Veríssimo, 748 – Bairro J. Encantado - São José da Lapa – MG
CEP –33350-000 - Tel/Fax: (31) 3623-6311 * 3623-9100 *
maxclean@maxcleanambiental.com.br

3/4

Ref:19.30.05.11



Sendo o que se apresenta até o momento, agradecemos e nos colocamos ao dispor de V.Sas. para esclarecimentos que se fizerem necessários.


Atenciosamente,

Maxclean Ambiental & Química S/A
Departamento Comercial
31-3623-9100
31-3287-8079

MAX CLEAN AMBIENTAL & QUÍMICA S/A
R. José Veríssimo, 748 – Bairro J. Encantado - São José da Lapa – MG
CEP –33350-000 - Tel/Fax: (31) 3623-6311 * 3623-9100 *
maxclean@maxcleanambiental.com.br

4/4

Ref:19.30.05.11

BOND CARNEIRO PRODUTOS QUÍMICOS	
 BOND CARNEIRO PRODUTOS QUÍMICOS	Rua Julio Wischral, 757
	Curitiba – Paraná
	Fone: (41) 3369-2121 / Fax: (41) 3369-1799
	vendas@bondcarneiro.com.br www.bondcarneiro.com.br

COTAÇÃO:

PARA:	LACTEC - CEHPAR - DPRA			
A/C:	OTTO			
DE:	MAGDA MEDEIROS			
E-MAIL:	vendas@bondcarneiro.com.br			
DATA:	24/05/2011			

QTD	EMBAL			PRODUTO	PREÇO POR KG/LT	UNIT (R\$)	TOTAL (R\$)
1	BB	40	KG	HIDRÓXIDO SÓDIO 50%	1,77	70,70	70,70
TOTAL COTAÇÃO							70,70

VALIDADE PROPOSTA:	5 DIAS
PRAZO DE ENTREGA:	IMEDIATO
CONDIÇÕES DE PGTO:	À VISTA
FRETE:	FOB
EMBALAGEM:	INCLUSO NO PREÇO
VALOR DO ICMS:	12%
OBS:	PAGAMENTO DEPÓSITO BANCARIO RETIRADA MERCADORIA DEPÓSITO NA CIC

Apêndice C

**Dosagem sugerida pela MaxClean para realização dos experimentos com MXD
100.**



São José da Lapa, 18 de outubro de 2007.

A
Copel Geração e Transmissão S. A.
Usina hidrelétrica Governador José Richa - Capitão Leônidas Marques PR..

A/C Josué G. de Oliveira

Prezados Senhor,

Atendendo a vossa solicitação encaminhamos os valores e o modo de aplicação do nosso produto MXD-100. Os cálculos foram realizados tomando por base nas informações fornecidas pelo Engenheiro Químico Otto Samuel Mäder Netto.

Descrição do sistema:

- Vazão: 19,5 m³/h (3 linhas de 6,5 m³/h) - o pH da água bruta é de aproximadamente 7,15.

- Sistema: O sistema é composto por 12 tubulações de 2 polegadas com trilhos internos contendo corpos de provas. Estes corpos de prova serão retirados mensalmente durante um ano e analisados densidade e porcentagem de cobertura de organismos incrustantes. Serão realizadas comparações entre cloro, hidróxido de sódio, MXD 100 e tintas antiincrustantes. Três tubulações permanecerão em branco para comparações com um sistema sem qualquer tipo de tratamento.

MAX CLEAN AMBIENTAL & QUÍMICA S/A.
Rua José Veríssimo da Silva, 748-Jardim Encantado – São José da Lapa – MG CEP: 33350-000
PABX (31) 3623-9100 E-mail: maxclean@maxcleanambiental.com.br

1/2

Aplicação MXD-100

Para o sistema em questão iremos trabalhar com uma aplicação intermitente, sendo necessária uma bomba injetora que seja capaz de realizar esta atividade.

Concentração MXD-100

Utilizaremos uma concentração de 1 ppm.

Valor da vazão; 19,5 m³/h

Valor MXD-100: 200 mL

Frequência: 3 vezes ao dia durante 10 minutos.

Valor total de consumo dia MXD-100: 600 mL

Estamos à inteira disposição para sanar qualquer dúvida sobre a aplicação ou outra que possa surgir.

Desde já agradecemos e ficamos no aguardo da programação para uma visita para conhecermos o sistema e o trabalho que vai ser realizado.

Atenciosamente

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Frederico Augusto Ribeiro da Mata
Gerente de Meio Ambiente